

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektroenergetiky**

**Viditelnost objektů na komunikacích v noci**  
**Visibility of Objects on Roads at Night**

**2019**

**Lukáš Novák**

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Lukáš Novák**  
Studijní program: N2649 Elektrotechnika  
Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika  
Téma: **Viditelnost objektů na komunikacích v noci**  
**Visibility of Objects on Roads at Night**  
Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

- Legislativa ve veřejném osvětlení
- Analýza současného stavu (svítidla, světelné zdroje, parametry)
- Parametry ovlivňující viditelnost chodců a překážek
- Provedení kontrolního srovnávacího měření v Centru bezpečné jízdy LIBROS Ostrava
- Návrh ideálního osvětlení pozemní komunikace pro zadané tři druhy reflektorů osobního automobilu na základě kontrolního srovnávacího měření

### Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Sokanský, K.: Světelná technika. ČVUT, Praha 2011
- [2] Habel, J.: Světlo a osvětlování. FCC Public, Praha 2013
- [3] Sborníky z Kurzů osvětlovací techniky, Sborníky VŠB-TU
- [4] Analýza viditelnosti účastníků silničního provozu za účelem zvýšení jejich bezpečnosti za soumraku a v noci, Ministerstvo vnitra ČR, 2018, pracovní verze
- [5] Manuály k výpočetním programům


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Karel Sokanský, CSc.**

Datum zadání: 01.09.2018

Datum odevzdání: 30.04.2019



  
prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry

  
prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.  
děkan fakulty

## **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 28. dubna 2019

  
Lukáš Novák

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu své diplomové práce prof. Ing. Karlovi Sokanskému, CSc. za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Petrovi Běčákovi za cenné rady při zpracovávání této práce. Mé poděkování patří také mým nejbližším za podporu při studiu.

## **Abstrakt**

Diplomová práce se zabývá problematikou viditelnosti objektů na komunikacích v noci. Teoretická část práce objasňuje základní legislativu veřejného osvětlení a jeho rozdělení do tříd. Popisuje také analýzu současného stavu veřejného osvětlení a mimo jiné se zaměřuje na parametry negativně ovlivňující viditelnost na komunikacích. Náplní praktické části je kontrolní srovnávací měření světlometů v Centru bezpečné jízdy LIBROS Ostrava, které bylo organizováno v souvislosti s řešením výzkumného úkolu z Ministerstva vnitra. Výsledkem závěrečné práce je mimo jiné optimalizace soustavy veřejného osvětlení pomocí změny různých technických parametrů a návrh ideální soustavy veřejného osvětlení.

**Klíčová slova** – viditelnost na komunikacích, veřejné osvětlení, osvětlovací soustava, osvětlenost, optimalizace, Relux

## **Abstract**

The thesis deals with the issue of object visibility on roads at night. The theoretical part describes the basic legislation of public lighting and its division into classes. It also describes analysis of the current state of the public lighting and, among other things, focuses on parameters negatively affecting visibility on the roads. The content of the practical part is a control measurement of headlights in LIBROS Safe Driving Center Ostrava which was organized in connection with the research task of the Ministry of the Interior. In the end, the thesis focuses on the optimization of the public lighting system by changing various technical parameters and also the design of an ideal public lighting system.

**Key words** - Visibility on roads, public lighting, lighting system, illuminance, optimization, Relux

# Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk .....	- 9 -
Seznam ilustrací .....	- 10 -
Seznam tabulek .....	- 11 -
Úvod.....	- 12 -
1    Legislativa veřejného osvětlení .....	- 14 -
1.1    Povinnost obce provozovat veřejné osvětlení .....	- 14 -
1.2    Kvalita osvětlení.....	- 14 -
1.2.1    Normy.....	- 15 -
1.2.2    Zákony.....	- 15 -
1.3    Třídy osvětlení.....	- 15 -
1.3.1    Třídy M.....	- 16 -
1.3.2    Třídy P .....	- 16 -
2    Analýza současného stavu veřejného osvětlení.....	- 17 -
2.1    Světelné zdroje .....	- 17 -
2.1.1    Vysokotlaké rtuťové výbojky .....	- 17 -
2.1.2    Vysokotlaké sodíkové výbojky .....	- 17 -
2.1.3    Halogenidové výbojky .....	- 18 -
2.1.4    Světelné diody (LED).....	- 18 -
2.1.5    Srovnání parametrů světelných zdrojů pro VO .....	- 19 -
2.1.6    Srovnání spektrálních charakteristik světelných zdrojů pro VO .....	- 20 -
2.2    Svítidla .....	- 21 -
2.2.1    Křivky svítivosti .....	- 22 -
2.2.2    Účinnost svítidla.....	- 23 -
2.2.3    Krytí svítidla.....	- 23 -
2.3    Osvětlovací soustavy .....	- 24 -
3    Parametry ovlivňující viditelnost chodců.....	- 26 -
3.1    Přírodní – mlha.....	- 26 -
3.2    Umělé – oslnění.....	- 27 -
4    Kontrolní srovnávací měření světlometů .....	- 29 -
4.1    Měření vertikální osvětlenosti.....	- 30 -
4.2    Výsledky měření .....	- 31 -

Rozložení naměřených hodnot – tlumená světla a zapnuté VO .....	- 32 -
Rozložení naměřených hodnot – tlumená světla a zapnuté VO .....	- 34 -
Rozložení naměřených hodnot – dálková světla a vypnuté VO .....	- 35 -
5 Návrh ideálního osvětlení pozemní komunikace .....	- 36 -
5.1 Simulace měření na modelové komunikaci.....	- 36 -
5.2 Optimalizace současné soustavy VO .....	- 40 -
5.2.1 Optimalizace pomocí změny umístění svítidel.....	- 40 -
5.2.2 Optimalizace pomocí změny světelného zdroje .....	- 41 -
5.2.3 Optimalizace pomocí změny celého svítidla .....	- 43 -
5.2.4 Optimalizace soustavy všemi prostředky .....	- 45 -
5.3 Porovnání soustavy VO před a po optimalizaci .....	- 47 -
6 Závěr .....	- 49 -
Použitá literatura .....	- 51 -
Seznam příloh.....	- 53 -



## Seznam použitých symbolů a zkratk

Symboly	Význam
$L_m$	průměrný jas
<b>cd</b>	candela
$U_o$	celková rovnoměrnost osvětlenosti
$U_l$	podélná rovnoměrnost osvětlenosti
$f_{TI}$	prahový přírůstek
$R_{EI}$	činitel osvětlení okolí
$E_m$	průměrná osvětlenost
<b>lx</b>	lux
$E_{min}$	minimální osvětlenost
<b>Ra</b>	index podání barev
<b>lm</b>	lumen
<b>W</b>	watt
$L_v$	celkový závojevý jas
$L_{ve}$	ekvivalentní závojevý jas pozadí
$E_{eye}$	osvětlenost oka pozorovatele
$\Theta$	úhel mezi směrem pohledu a směrem dopadajícího světla
$\rho$	průměrný činitel odrazu
$E_{hav}$	průměrná horizontální osvětlenost prostoru
Zkratky	Význam
<b>VO</b>	veřejné osvětlení
<b>IP</b>	stupeň krytí (Ingress Protection)
<b>CIE – GR</b>	metoda hodnocení oslnění (Glare Rating method)

## Seznam ilustrací

Obrázek 2.1:	Čirá rtuťová výbojka Tesla RVC [6]	- 17 -
Obrázek 2.2:	Sodíková výbojka Tesla SHC [6]	- 18 -
Obrázek 2.3:	Halogenidová výbojka Tesla RVIM [6]	- 18 -
Obrázek 2.4:	Vnitřní struktura LED diody	- 19 -
Obrázek 2.5:	Srovnání spektrálních charakteristik [13]	- 20 -
Obrázek 2.6:	Elektrosvit Sadovka [14]	- 21 -
Obrázek 2.7:	Elektrosvit Koule A [6]	- 21 -
Obrázek 2.8:	Elektrosvit Velbloud [15]	- 21 -
Obrázek 2.9:	Thorn Diana LED [16]	- 21 -
Obrázek 2.10:	Vyzařovací charakteristika svítidla Elektrosvit Sadovka [11]	- 22 -
Obrázek 2.11:	Vyzařovací charakteristika svítidla Elektrosvit Koule A [11]	- 22 -
Obrázek 2.12:	Vyzařovací charakteristika svítidla Elektrosvit Velbloud [11]	- 22 -
Obrázek 2.13:	Vyzařovací charakteristika svítidla Thorn Diana LED	- 22 -
Obrázek 2.14:	Nové veřejné LED osvětlení v obci Vlasatice [21]	- 24 -
Obrázek 2.15:	Obecný popis stožárů veřejného osvětlení [22]	- 24 -
Obrázek 3.1:	Mlha na komunikaci [26]	- 26 -
Obrázek 3.2:	Jasová mapa nevhodně zvolené osvětlovací soustavy [11]	- 27 -
Obrázek 3.3:	Úhel mezi směrem pohledu a směrem světla od svítidla [11]	- 28 -
Obrázek 4.1:	Tým, který prováděl měření na zkušebním polygonu LIBROS	- 29 -
Obrázek 4.2:	Pozice měřících bodů vertikální osvětlenosti Ev	- 30 -
Obrázek 4.3:	Síť měřících bodů	- 30 -
Obrázek 4.4:	Průběhy vertikálních osvětleností v situaci tlumená světla a vypnuté VO	- 32 -
Obrázek 4.5:	Průběhy vertikálních osvětleností v situaci tlumená světla a zapnuté VO	- 34 -
Obrázek 4.6:	Průběhy vertikálních osvětleností v situaci dálková světla a vypnuté VO	- 35 -
Obrázek 5.1:	Průběhy vertikálních osvětleností pouze od VO	- 36 -
Obrázek 5.2:	Měřený modelový úsek komunikace	- 37 -
Obrázek 5.3:	Modelový úsek komunikace nasimulovaný v softwaru ReluxPro	- 37 -
Obrázek 5.4:	Příklad měření vzdálenosti sloupů VO [29]	- 38 -
Obrázek 5.5:	Půdorys projektu v softwaru ReluxPro	- 39 -
Obrázek 5.6:	Průběhy vertikálních osvětleností od VO ze simulace v softwaru ReluxPro	- 39 -
Obrázek 5.7:	Průběhy osvětleností po posunutí VO	- 40 -
Obrázek 5.8:	Průběhy osvětleností po změně výšky svítidla	- 41 -
Obrázek 5.9:	Průběhy osvětleností po změně světelného zdroje	- 42 -
Obrázek 5.10:	Průběhy osvětleností po změně světelného zdroje a výšky	- 42 -
Obrázek 5.11:	Parametry svítidla CiviTEQ EWS [31]	- 43 -
Obrázek 5.12:	Průběhy osvětleností při použití LED svítidla CiviTEQ	- 44 -
Obrázek 5.13:	Svítidlo CiviTEQ od výrobce Thorn [30]	- 44 -
Obrázek 5.14:	Parametry svítidla CiviTEQ WR [31]	- 45 -
Obrázek 5.15:	Průběhy vertikálních a horizontální osvětleností po optimalizaci soustavy	- 46 -
Obrázek 5.16:	Osvětlení modelového úseku komunikace po optimalizaci soustavy	- 46 -
Obrázek 5.17:	Porovnání průběhů vertikálních osvětleností	- 47 -
Obrázek 5.18:	Porovnání průběhů horizontálních osvětleností	- 48 -

## Seznam tabulek

Tabulka 1.1: <i>Požadavky tříd M [3]</i> .....	- 16 -
Tabulka 1.2: <i>Požadavky tříd P [3]</i> .....	- 16 -
Tabulka 2.1: <i>Srovnání parametrů světelných zdrojů</i> .....	- 19 -
Tabulka 2.2: <i>Význam číslíc stupně krytí [19]</i> .....	- 23 -
Tabulka 2.3: <i>Uspořádání osvětlovacích soustav [23]</i> .....	- 25 -
Tabulka 4.1: <i>Naměřené hodnoty EV pro xenonové světlomety bez veřejného osvětlení</i> .....	- 31 -
Tabulka 4.2: <i>Brzdné dráhy při rychlosti 50 km/h [28]</i> .....	- 33 -
Tabulka A.1: <i>Vertikální osvětlenosti – xenonové světlomety, tlumená světla a vypnuté VO</i> .....	I
Tabulka A.2: <i>Vertikální osvětlenosti – xenonové světlomety, dálková světla a vypnuté VO</i> .....	I
Tabulka A.3: <i>Vertikální osvětlenosti – xenonové světlomety, tlumená světla a zapnuté VO</i> .....	II
Tabulka A.4: <i>Vertikální osvětlenosti – halogenové světlomety, tlumená světla a vypnuté VO</i> .....	II
Tabulka A.5: <i>Vertikální osvětlenosti – halogenové světlomety, dálková světla a vypnuté VO</i> .....	III
Tabulka A.6: <i>Vertikální osvětlenosti – halogenové světlomety, tlumená světla a zapnuté VO</i> .....	III
Tabulka A.7: <i>Vertikální osvětlenosti – LED světlomety, tlumená světla a vypnuté VO</i> .....	IV
Tabulka A.8: <i>Vertikální osvětlenosti – LED světlomety, dálková světla a vypnuté VO</i> .....	IV
Tabulka A.9: <i>Vertikální osvětlenosti – LED světlomety, tlumená světla a zapnuté VO</i> .....	V
Tabulka A.10: <i>Vypočtené hodnoty vertikálních osvětleností po eliminaci světlometů vozidel</i> .....	V
Tabulka B.1: <i>Vertikální osvětlenosti ze simulace měření</i> .....	VI
Tabulka B.2: <i>Vertikální osvětlenosti po optimalizaci posunutím svítidla</i> .....	VI
Tabulka B.3: <i>Vertikální osvětlenosti po optimalizaci změnou výšky svítidla</i> .....	VII
Tabulka B.4: <i>Vertikální osvětlenosti po optimalizaci změnou světelného zdroje</i> .....	VII
Tabulka B.5: <i>Vertikální osvětlenosti po optimalizaci změnou světelného zdroje výšky</i> .....	VIII
Tabulka B.6: <i>Vertikální osvětlenosti po optimalizaci změnou svítidla</i> .....	VIII
Tabulka B.7: <i>Vertikální osvětlenosti po optimalizaci všemi prostředky</i> .....	IX

## Úvod

Viditelnost objektů na komunikacích je velmi aktuálním tématem, jelikož ovlivňuje nejen zlepšení bezpečnosti na komunikacích v městech a obcích, ale i ochranu osob a majetku před různými vlivy kriminální činnosti. Rovněž má neopomenutelnou funkci při architektonickém dotváření vzhledu měst a obcí. Při snížené viditelnosti jsou v ohrožení především chodci, kteří jsou menším objektem než automobil, proto novela zákona o provozu na pozemních komunikacích zavádí v § 53, odst. 9 novou povinnost pro chodce pohybující se „*mimo obec za snížené viditelnosti po krajnici nebo okraji vozovky v místě, které není osvětleno veřejným osvětlením*“, a to povinnost „*mít na sobě prvky z retroreflexního materiálu umístěné tak, aby byly viditelné pro ostatní účastníky provozu na pozemních komunikacích*“.

„*Příslušenstvím dálnice, silnice a místní komunikace je veřejné osvětlení, světelná signalizační zařízení sloužící k řízení provozu*“. Takto vymezuje zákon č. 13/1997 Sb. o pozemních komunikacích veřejné osvětlení, které je ústřední tematikou mé diplomové práce.

Teoretická část diplomové práce je zaměřena na legislativu, povinnosti obcí v rámci soustavy veřejného osvětlení, které vyplývají především ze zákona o pozemních komunikacích, problematice nekontrolování správnosti návrhů nových soustav a třídám osvětlení komunikací. V následující části nazvané *Analýza současného stavu veřejného osvětlení* jsou přiblíženy nejdůležitější prvky soustav veřejného osvětlení, jako jsou světelné zdroje, svítidla, do kterých se světelné zdroje umísťují a jejich podpěrné body. Mimo jiné jsou přiblíženy parametry, které negativně ovlivňují viditelnost na komunikaci. Jedná se především o mlhu představující přírodní vlivy a oslnění představující vlivy uměle vytvořené.

V rámci praktické části diplomové práce jsem se aktivně zúčastnil kontrolního srovnávacího měření světlometů v Centru bezpečné jízdy LIBROS Ostrava, které bylo organizováno v souvislosti s řešením grantu z Ministerstva vnitra, konkrétně výzkumného úkolu VI2VS/571 programu BV III/1-VS s názvem Analýza viditelnosti účastníků silničního provozu za účelem zvýšení jejich bezpečnosti za soumraku a v noci. Jednalo se o kontrolní měření dopravního prostoru v noci na vytvořené vzorové komunikaci. Měření bylo provedeno u devíti modelových situací, přičemž se jednalo o tři typy vozidel s odlišnými druhy světlometů (halogenové, xenonové a LED světelné zdroje). Každé vozidlo bylo měřeno pro tři typy situací, které mohou nastat běžně v provozu. V první části měření byla komunikace osvětlena pouze světlomety vozidla v režimu tlumených neboli potkávacích světél. V druhé části měření osvětlovalo komunikaci spolu s tlumenými světlomety současně i veřejné osvětlení. V poslední části měření bylo měřeno osvětlení komunikace pomocí světlometů v režimu dálkových světél. V závěru diplomové práce se zaměřuji na návrh ideální soustavy veřejného osvětlení. V rámci návrhu byla vytvořena simulace předchozího měření, na jejíž základě je provedená optimalizace stávající soustavy veřejného osvětlení.

Hlavním cílem závěrečné práce je na základě kontrolního srovnávacího měření světlometů v Centru bezpečné jízdy LIBROS Ostrava a na základě naměřených hodnot z něj navrhnout ideální soustavu veřejného osvětlení s ohledem na modelovou komunikaci z měření.

**Dílčí cíle práce jsou:**

1. Kontrolní srovnávací měření světlometů v Centru bezpečné jízdy LIBROS Ostrava.
2. Simulace měření na modelové komunikaci.
3. Optimalizace současné soustavy veřejného osvětlení.
4. Navržení ideálního osvětlení pozemní komunikace.
5. Porovnání soustavy veřejného osvětlení před a po optimalizaci.

# 1 Legislativa veřejného osvětlení

Veřejné osvětlení, často označováno zkratkou VO, zahrnuje osvětlení ulic, chodníků, silnic nebo jiných veřejných prostranství. Veřejné osvětlení patří mezi veřejně prospěšnou službu, kterou ve smyslu zákona o obcích zřizují právě obce. Veřejné osvětlení je důležité mimo jiné pro bezpečnost na komunikacích, proto jsou požadavky na osvětlení pozemních komunikací definovány v zákonech a normách. [1]

## 1.1 Povinnost obce provozovat veřejné osvětlení

Jak již bylo zmíněno, povinnost zřizování veřejného osvětlení mají především obce, což je zřejmé ze zákona č.128/2000 Sb. o obcích (obecní zřízení), z Hlavy II, dílu 1 - § 35 odstavec 2: [1]

*"Obec v samostatné působnosti ve svém územním obvodu dále pečuje v souladu s místními předpoklady a s místními zvyklostmi o vytváření podmínek pro rozvoj sociální péče a pro uspokojování potřeb svých občanů. Jde především o uspokojování potřeby bydlení, ochrany a rozvoje zdraví, dopravy a spojů, potřeby informací, výchovy a vzdělávání, celkového kulturního rozvoje a ochrany veřejného pořádku."*

Jelikož veřejné osvětlení úzce souvisí s bezpečností na komunikacích, ať už z hlediska kriminality nebo ohrožení chodců na komunikaci, můžeme říct, že povinnost obce zajistit veřejné osvětlení a jeho správný provoz, který pomáhá k zajištění vyšší bezpečnosti občanů, je patrně nezbytná. Protože je zařízení VO majetkem obce, je také důležitý díl 2 - § 38 odstavec 1 zákona č.128/2000 Sb. o obcích, který oklešťuje hospodárné a účelné využívání VO: [1]

*"Majetek obce musí být využíván účelně a hospodárně v souladu s jejími zájmy a úkoly vyplývajícími ze zákonem vymezené působnosti. Obec je povinna pečovat o zachování a rozvoj svého majetku. Porušením povinností stanovených ve větě první a druhé není takové nakládání s majetkem obce, které sleduje jiný důležitý zájem obce, který je řádně odůvodněn. Obec vede účetnictví podle zákona o účetnictví."*

Z výše uvedeného tedy vyplývá, že má obec povinnost zajistit údržbu (zachování majetku) a provádět rekonstrukce a rozvoj majetku – veřejného osvětlení.

## 1.2 Kvalita osvětlení

S nástupem LED svítidel do VO se naskytla možnost významných energetických úspor, které jsou lákadlem pro většinu obcí. Díky velkému zájmu o energetické úspory ale v některých obcích znatelně degradovala kvalita VO. Požadavky na úspory spolu s nekvalitními návrhy dodavatelů LED svítidel zapříčinily to, že energetické úspory často zvítězily nad kvalitou. Jestli výsledné realizace odpovídají požadavkům norem už nekontroluje téměř nikdo, a to i přes to, že kvalita osvětlení pozemních komunikací je požadována legislativou ČR. [2]

### 1.2.1 Normy

Normy se závaznými stanou, až pokud jsou uvedeny v zákoně nebo prováděcí vyhlášce, a to se zrovna týká osvětlování průjezdních úseků silnic a dálnic. Požadavek na dodržování norem je uveden v § 25 odst. 1 vyhlášky č. 104/1997 Sb., kterou se provádí zákon o pozemních komunikacích: [2]

*"Dálnice a silnice se vždy osvětlují v zastavěném území obcí. Mimo toto území se osvětlují jen zvlášť určené úseky, jako např. na hraničních přechodech, v tunelech a na jejich přilehlých úsecích, výjimečně na křižovatkách, za podmínek obsažených v závazných ČSN 73 6102 a ČSN 73 7507. Osvětlení lze zřídit i v oblastech, kde to zdůvodňuje intenzita dopravy, případně četnost chodců a cyklistů."*

Tuto vyhlášku ministerstvo dopravy vypracovalo z důvodu zmocnění definovaného v § 194 písm. c) zákona č. 183/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon): [2]

*"Ministerstvo dopravy stanoví právním předpisem technické požadavky pro letecké stavby podle zákona o civilním letectví, pro stavby drah a na dráze včetně zařízení na dráze, stavby dálnic, silnic, místních komunikací a veřejně přístupných účelových komunikací a rozsah a obsah projektové dokumentace k uvedeným stavbám."*

### 1.2.2 Zákony

Zákon č. 183/2006 Sb. definuje dodržování požadavků pro výstavbu nejen při předkládání žádostí o povolení stavebního řízení, ale kontroluje také jejich provedení při uvádění stavby do provozu. Konkrétní požadavky na osvětlení pozemních komunikací se uvádí v zákoně č. 13/1997 Sb. (Zákon o pozemních komunikacích) a prováděcí vyhlášce č. 104/1997 Sb. [2]

Povinnosti kontrolních činností obecních, popřípadě speciálních stavebních úřadů jsou ale striktně uvedeny v § 6 odst. 2 zákona č. 500/2004 Sb. správní řád: [2]

*„Správní orgán postupuje tak, aby nikomu nevznikaly zbytečné náklady, a dotčené osoby co možná nejméně zatěžuje. Podklady od dotčené osoby vyžaduje jen tehdy, stanoví-li tak právní předpis."*

Pokud tedy nebude v legislativě uveden striktní požadavek na prověřování kvality osvětlení pozemních komunikací, bude stále možné realizovat nekvalitní stavby s nedostatečným osvětlením. [2]

## 1.3 Třídy osvětlení

Norma ČSN EN 13201-2 definuje požadavky pro začlenění do tříd osvětlení. Konkrétní třída se vybírá vždy pro každou ulici podle několika parametrů, a to například podle uživatelů silnice, podle rychlosti, intenzity provozu, počtu křižovatek, jasu okolí a podobně. Pro každou třídu jsou určeny sledované veličiny a hodnoty, které musí být nabývat. [3]

### 1.3.1 Třídy M

Třídy M jsou stanoveny pro motorizovanou dopravu na silnicích a někdy i na místních komunikacích, kde jsou povoleny střední až vysoké rychlosti dopravy. CEN TR13201-1 určuje střední rychlost v rozmezí 40 až 70 km/h. [3]

Tabulka 1.1: Požadavky tříd M [3]

Třída osvětlení	$L_m$ (cd/m <sup>2</sup> )	$U_o$ (-)	$U_l$ (-)	$f_{Tl}$ (%)	$R_{El}$ (-)
<b>M1</b>	2	0,4	0,7	10	0,35
<b>M2</b>	1,5	0,4	0,7	10	0,35
<b>M3</b>	1	0,4	0,6	15	0,30
<b>M4</b>	0,75	0,4	0,6	15	0,30
<b>M5</b>	0,5	0,35	0,4	15	0,30
<b>M6</b>	0,3	0,35	0,4	20	0,30

V třídách M se sleduje průměrný jas  $L_m$ , celková rovnoměrnost  $U_o$ , podélná rovnoměrnost  $U_l$ , prahový přírůstek  $f_{Tl}$  a činitel osvětlení okolí  $R_{El}$ . Hodnoty, které by měly jednotlivé třídy nabývat jsou vidět v *Tabulka 1.1*.

### 1.3.2 Třídy P

Tyto třídy jsou především určeny pro chodníky a stezky, používají se ale také pro motorizovanou dopravu na místních komunikacích nižší rychlostí, pro parkovací či odstavné pruhy a jiné dopravní prostory. [3]

Tabulka 1.2: Požadavky tříd P [3]

Třída osvětlení	$E_m$ (lx)	$E_{min}$ (lx)
<b>P1</b>	15	3
<b>P2</b>	10	2
<b>P3</b>	7,5	1,5
<b>P4</b>	5	1
<b>P5</b>	3	0,6
<b>P6</b>	2	0,4

Požadavky tříd P kladou důraz jen na průměrnou osvětlenost  $E_m$  a minimální osvětlenost  $E_{min}$ , například pro třídu P3 musí být  $E_m$  větší než 7,5 lx a zároveň nesmí klesnout  $E_{min}$  pod 1,5 lx (viz *Tabulka 1.2*).



## 2 Analýza současného stavu veřejného osvětlení

Veřejné osvětlení se skládá z řady několika technických prvků, z nichž má každý patrný vliv na výsledek současného stavu veřejného osvětlení. Mezi hlavní prvky VO patří světelné zdroje, svítidla, do kterých se tyto světelné zdroje umisťují, a podpěrné body, které umožní svítidlo umístit tam, kde je jeho umístění potřebné. [4]

### 2.1 Světelné zdroje

Světelné zdroje jsou nejdůležitější součástí veřejného osvětlení, protože přeměňují elektrickou energii na světlo. Zdroj světla neboli optického záření jsou především objekty, u kterých dochází k transformaci různých forem energie na energii elektromagnetického záření ve viditelné oblasti elektromagnetického spektra. Volba světelného zdroje ovlivňuje kvalitu vyřazovaného světla, energetickou náročnost a cenu. [4]

#### 2.1.1 Vysokotlaké rtuťové výbojky

Ve vysokotlakých výbojkách vzniká hlavní část světla ve rtuťovém výboji při tlaku převyšujícím 100 kPa. Světlo těchto výbojek není příliš kvalitní, v jeho spektru chybí červená složka a díky tomu je velmi špatný index podání barev, konkrétně bývá  $R_a$  maximálně 50, měrný výkon není vysoký (cca 50 lm/W) a střední doba života bývá 20 000 hodin. Tyto výbojky se ve veřejném osvětlení vyskytují jen zřídka a vyskytují z pravidla ve svítidlech, kterým končí životnost. Od dubna roku 2015 je zákaz jejich umisťování na trhu Evropské unie. [5]

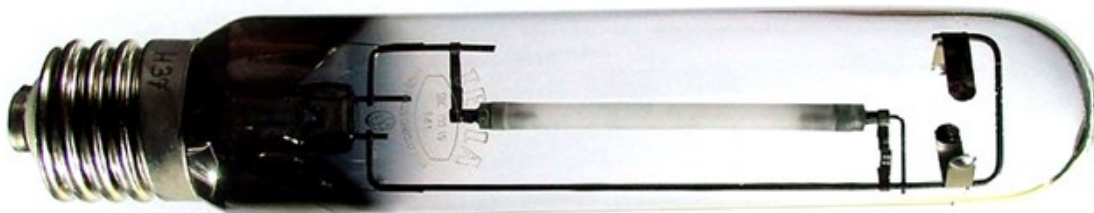


Obrázek 2.1: Čirá rtuťová výbojka Tesla RVC [6]

#### 2.1.2 Vysokotlaké sodíkové výbojky

Ve vysokotlakých sodíkových výbojkách vzniká světlo při výboji v parách sodíku a rtuti s tlakem v 3 až 60 kPa. Jejich parametry jsou daleko lepší než u rtuťových výbojek, mají velký měrný výkon (70-120 lm/W) a střední dobu života 25 000 hodin a více. Jejich nevýhodou je horší podání barev (index podání barev  $R_a = 25$ ). I přes tuto nevýhodu se v České republice jedná o nepoužívanější světelný zdroj ve veřejném osvětlení (cca 85 %), který se používá pro osvětlení všech typů komunikací.

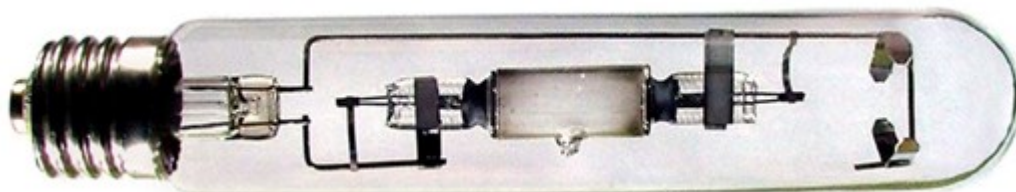
Do soustav VO se dostaly hlavně díky nahrazování rtuťových výbojek, v nových soustavách se ale vyskytují jen málokdy, protože jsou nahrazovány efektivnějšími zdroji. [4][7]



Obrázek 2.2: Sodíková výbojka Tesla SHC [6]

### 2.1.3 Halogenidové výbojky

Halogenidové výbojky jsou také vysokotlaké a patří dnes k těm nejmodernějším výbojkám. Světlo vzniká v i párách rtuti, ale hlavně zářením produktů halogenidů (sloučeniny halových prvků se sodíkem, galiem, thaliem apod.). Spektrum jejich světla je velmi podobné dennímu světlu, mají tedy oproti dosud zmiňovaným daleko vyšší index podání barev (Ra až 90). Jejich měrný výkon je také vysoký (70-110 lm/W) a střední doba životnosti se pohybuje okolo 10 000 hodin. Halogenidové výbojky se používají všude, kde je požadováno důvěryhodné podání barev (například centra měst). V soustavách VO se nepoužívá hlavně z důvodu vysoké ceny, v ČR je zastoupení těchto výbojek asi 5 %. [5][8][9]

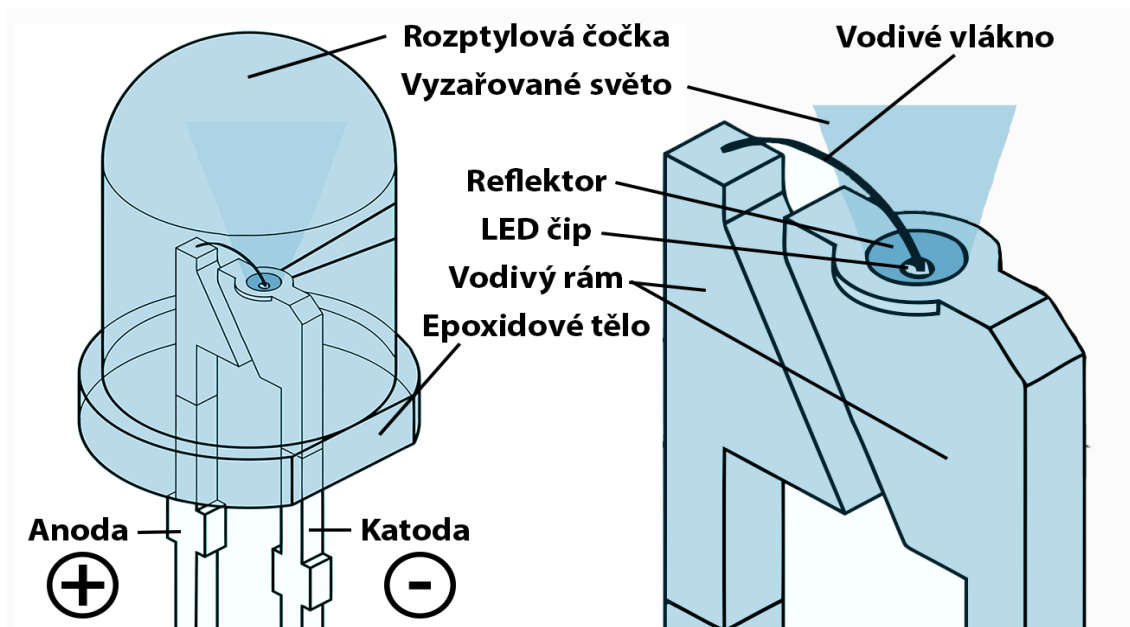


Obrázek 2.3: Halogenidová výbojka Tesla RVIM [6]

### 2.1.4 Světelné diody (LED)

LED (Light Emitting Diode) znamená v překladu světlo emitující dioda, je to elektronická polovodičová součástka, která vyzařuje světlo luminiscencí P-N přechodu. Průchodem elektrického proudu P-N přechodem je emitováno záření různých vlastností, které je závislé na chemickém složení používaného polovodiče. Různé složení polovodičů umožňuje výrobu LED diod vyzařujících od ultrafialového záření, přes barvy viditelného spektra, až po infračervené záření. Bílé světlo nelze emitovat přímo, a proto se ve starších čipech získávalo míšením základních barev. Dnes se pro dosažení bílého světla používají diody, které vyzařují v modré části viditelného spektra a následně se pomocí luminoforu toto světlo transformuje do ostatních částí spektra. [9][10]

Měrný výkon LED diod je vysoký, může být až 200 lm/W, ale v běžných podmínkách se pohybuje do 170 lm/W. Střední doba životnosti bývá až 50 000 hodin. Spektrum LED diod se méně podobá dennímu světlu, především díky špičce modré barvy, ale běžně už se vyrábí LED s indexem podání Ra větším než 80, pro dokonalé podání barev se vyrábí LED s Ra až 99. [9][10]



Obrázek 2.4: Vnitřní struktura LED diody

### 2.1.5 Srovnání parametrů světelných zdrojů pro VO

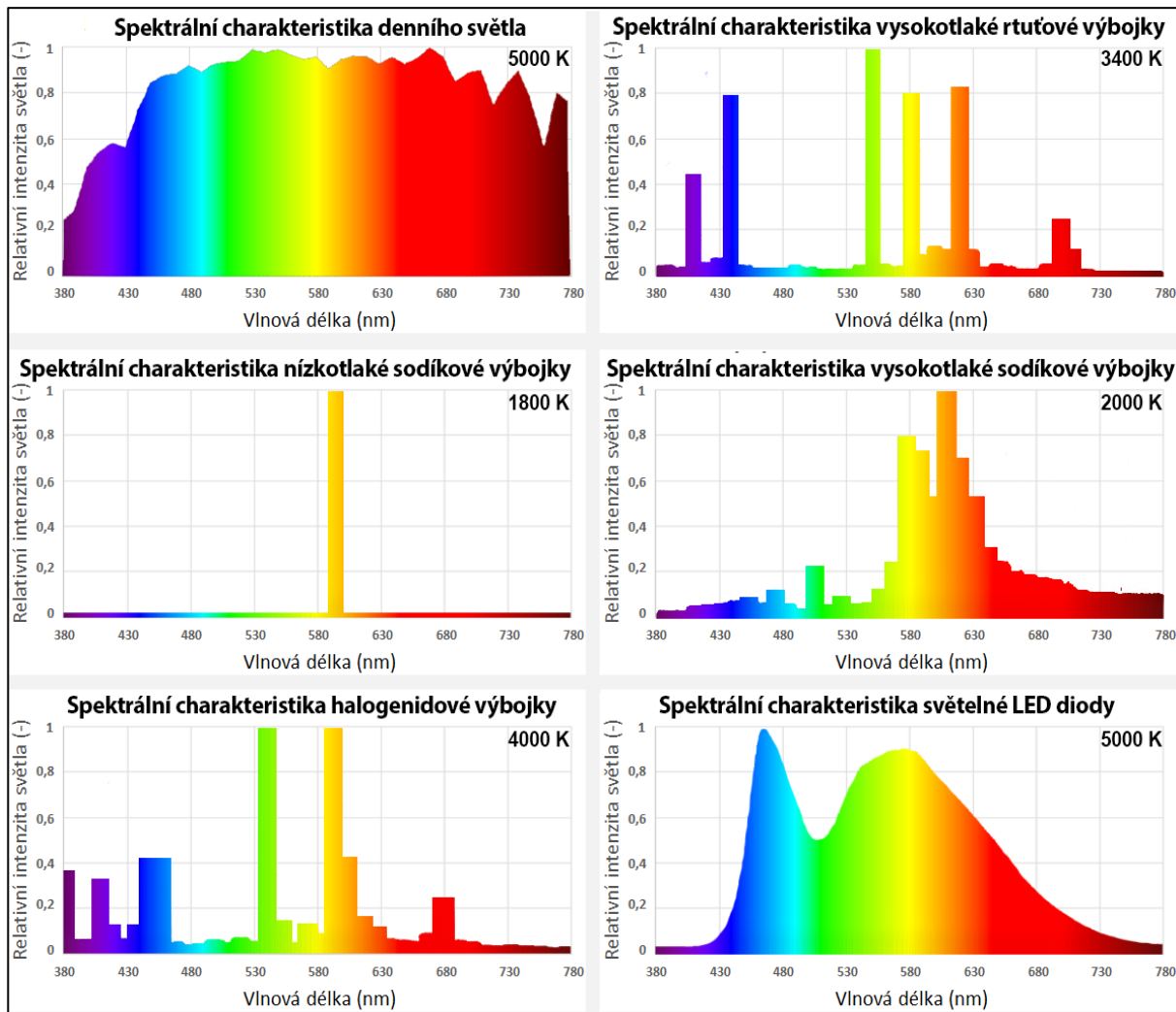
Parametry světelných zdrojů jsou klíčové pro návrh VO, protože se při výběru požaduje dlouhá životnost a nízká energetická náročnost, vybírají se pro většinu nových osvětlovacích soustav světelné LED diody. [11]

Tabulka 2.1: Srovnání parametrů světelných zdrojů

	Vysokotlaká rtuťová výbojka	Vysokotlaká sodíková výbojka	Halogenidová výbojka	Světelná LED dioda
<b>Měrný výkon (lm/W)</b>	40-60	70-120	70-110	100-170
<b>Střední doba životnosti</b>	20 000	25 000	10 000	50000
<b>Barevný tón</b>	Neutrálně bílá	Teple bílá	Teple až neutrálně bílá	Teple až chladně bílá
<b>Index podání barev</b>	40-60	20-30	70-90	70-90

### 2.1.6 Srovnání spektrálních charakteristik světelných zdrojů pro VO

Elektromagnetické vlnění o vlnových délkách 380-780 nm je viditelné světlo, intenzita a zastoupení vlnových délek určují výsledný celkový vjem a intenzitu barev. Pro popis vyzařování jednotlivých vlnových délek světelnými zdroji se používají spektrální charakteristiky. [12]



Obrázek 2.5: Srovnání spektrálních charakteristik [13]

## 2.2 Svítidla

Samotné světelné zdroje jsou pro VO nepoužitelné, proto se umísťují do svítidel. Svítidla obecně tvoří tři části – elektrická, mechanická a optická. Elektrická část umožňuje připojení k napájecí síti, popřípadě i k úpravě vlastností el. energie. Mechanická část slouží pro upevnění v prostoru, k ochraně proti mechanickému poškození a negativním klimatickým podmínkám. [4]

V oblasti veřejného osvětlení lze svítidla rozdělit podle účelu do dvou skupin. První je pro osvětlování komunikací, jejich úkolem je osvětlit povrch komunikací a nevyzařovat světlo jiným směrem. Druhá skupina je pro osvětlení veřejných prostorů neboli parkové osvětlení, a má za úkol osvětlit i okolní plochy, jako jsou zeleň, fasády, a podobně. [5]



Obrázek 2.6: *Elektrosvit Sadovka* [14]



Obrázek 2.7: *Elektrosvit Koule A* [6]



Obrázek 2.8: *Elektrosvit Velbloud* [15]

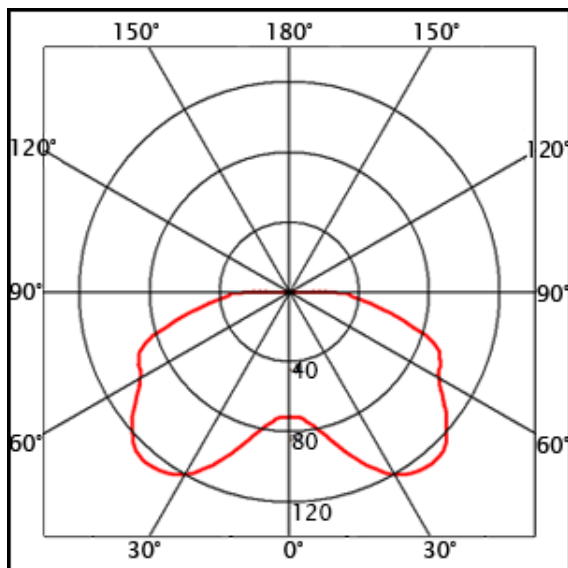


Obrázek 2.9: *Thorn Diana LED* [16]

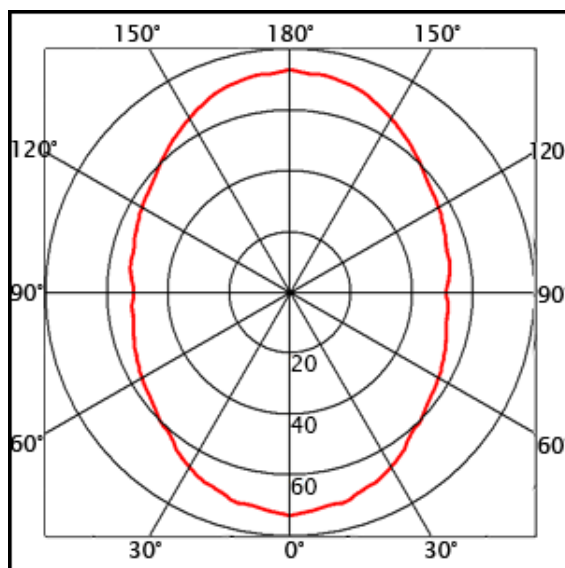
### 2.2.1 Křivky svítivosti

Nejdůležitějším údajem o svítidlech je charakter jejich vyzařování, křivky svítivosti popisují vyzařování světelného toku světelných zdrojů do prostoru, proto se také používá název vyzařovací charakteristika. Charakter rozložení světelného toku určuje použití svítidel, například osvětlení komunikace bude mít jinou vyzařovací charakteristiku než osvětlení přechodu. [5] [7]

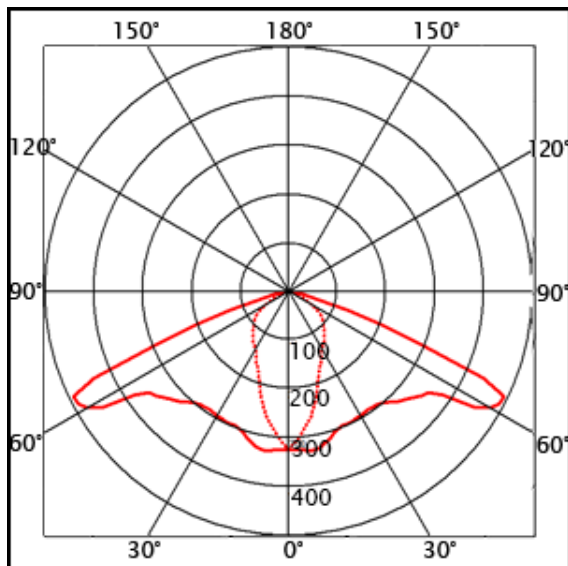
Na *Obrázek 2.11* je vidět, že svítidlo vyzařuje do horního poloprostoru, což je nežádané, protože způsobuje světelné znečištění oblohy. Na dalších obrázcích jsou vidět ploché vyzařovací charakteristiky, díky kterým je možno zvětšovat rozpětí mezi jednotlivými sloupy VO. [17]



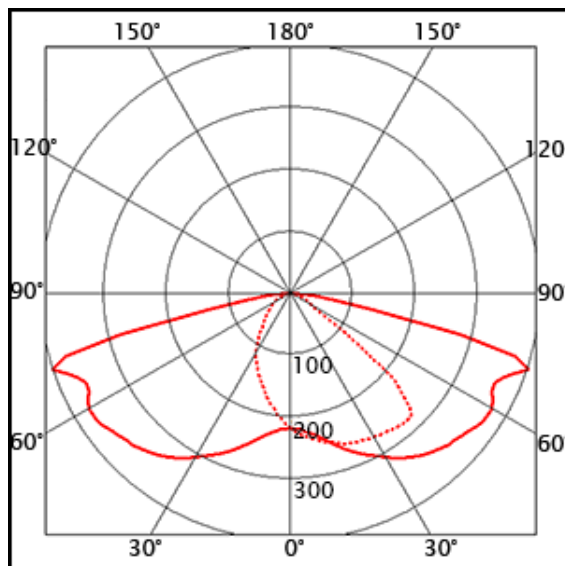
Obrázek 2.10: Vyzařovací charakteristika svítidla Elektrosvit Sadovka [11]



Obrázek 2.11: Vyzařovací charakteristika svítidla Elektrosvit Koule A [11]



Obrázek 2.12: Vyzařovací charakteristika svítidla Elektrosvit Velbloud [11]



Obrázek 2.13: Vyzařovací charakteristika svítidla Thorn Diana LED



### 2.2.2 Účinnost svítidla

Účinnost svítidla je míra využití světelného zdroje či zdrojů, je to poměr celkového světelného toku vyzářeného svítidlem ku světelnému toku zdroje či zdrojů uvnitř svítidla, např. účinnost běžného svítidla pro VO se pohybuje rozmezí 85–95 %. [18]

### 2.2.3 Krytí svítidla

Stupeň krytí svítidla je důležitou vlastností, označuje se zkratkou IP (Ingress Protection) a dvěma čísly. První číslo (0 - 6) udává stupeň ochrany před dotykem a vniknutím předmětů do svítidla, druhé číslo (0 - 8) udává stupeň ochrany před vniknutím vody. Čím jsou číslice vyšší, tím jsou vyšší i stupně ochrany. Svítidla s vyšším krytím mají obecně delší životnost, protože se méně špiní a pomaleji degradují. Pro venkovní prostory musí být krytí svítidel minimálně IP43, pro veřejné osvětlení se však používají svítidla s IP65 a vyšším. [11][19]

Tabulka 2.2: Význam číslic stupně krytí [19]

První číslice	Stupeň ochrany před nebezpečným dotykem a vniknutím cizích předmětů	Druhá číslice	Stupeň ochrany před vniknutím vody
0	Nechráněno	0	Nechráněno
1	Chráněno před vniknutím pevných cizích těles o průměru 50 mm a větších (hřbetem ruky)	1	Svisle kapající
2	Chráněno před vniknutím pevných cizích těles o průměru 12,5mm a větších (prstem)	2	Kapající ve sklonu 15°
3	Chráněno před vniknutím pevných cizích těles o průměru 2,5mm a větších (nástrojem)	3	Kropení, déšť
4	Chráněno před vniknutím pevných cizích těles o průměru 1mm a větších (drátem)	4	Stříkající
5	Chráněno před prachem a před dotykem drátem	5	Tryskající
6	Zařízení je prachotěsné a je chráněno před dotykem drátem	6	Intenzivně tryskající
		7	Dočasné ponoření
		8	Trvalé ponoření

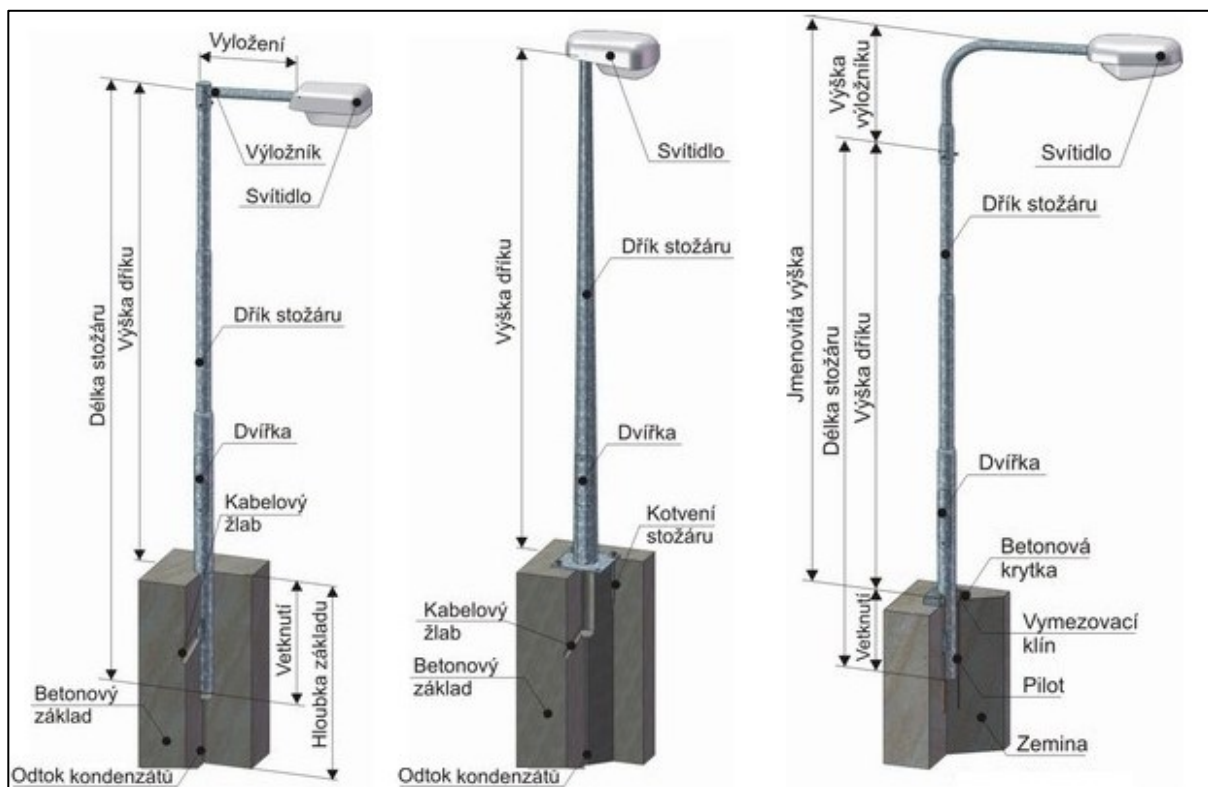
## 2.3 Osvětlovací soustavy

Osvětlovací soustava je soubor zahrnující veškeré prostředky k vytvoření požadovaného osvětlení, zahrnuje tedy svítidla, světelné zdroje, nosné prvky, rozvod elektrické energie a systém ovládání. [20]



Obrázek 2.14: *Nové veřejné LED osvětlení v obci Vlasatice [21]*

Systém ovládání soustavy VO většinou funguje tak, že se rozsvítí na podnět nastaveného časového spínače, popřípadě podle světelného čidla. V některých osvětlovacích soustavách se nachází stmívače, které při nízké intenzitě provozu snižují výkon soustavy a tím také spotřebu el. energie. Elektrický rozvod VO obstarávají kabely a rozvaděče. [20]

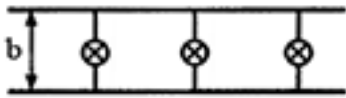
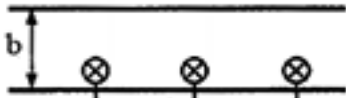
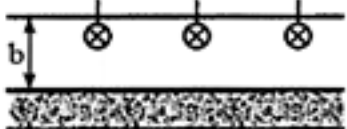
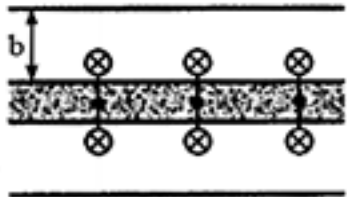
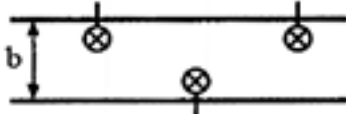
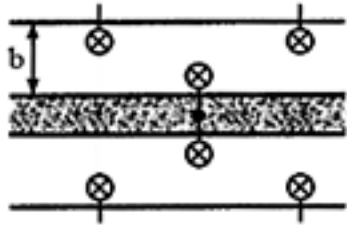
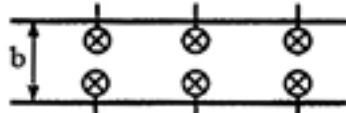
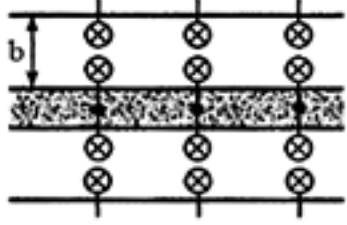



Obrázek 2.15: *Obecný popis stožárů veřejného osvětlení [22]*



Nosným prvkem pro veřejné osvětlení je stožár, jehož výška se pohybuje v rozmezí 6–12 metrů. Ten tvořen díkem, který většinou navazuje na výložník, což je část, která drží svítidlo v dané vzdálenosti od osy stožáru. Při návrhu soustavy VO je z důvodu ekonomiky snaha dosáhnout co největších rozpětí mezi stožáry a díky tomu co nejmenšímu množství stožárů a svítidel. Na umístění stožárů má značný vliv zeleň a zástavba v okolí, v praxi se můžeme setkat s několika možnými uspořádáními uvedenými v tabulce níže. [5][7][20]

Tabulka 2.3: Uspořádání osvětlovacích soustav [23]

Druh soustavy a podmínka volby	Komunikace	
	Směrově nerozdělené	Směrově rozdělené
osová $b = h$		nepoužívá se
jednostranná $b = h$		s vnějšími řadami stožárů  s vnitřními řadami stožárů 
vystřídaná $b < 1,5 h$		
párová $b > 1,5 h$		
řetězec (volí se podle speciálních svítidel)	nepoužívá se	

### 3 Parametry ovlivňující viditelnost chodců

Na viditelnost chodců mají negativní vliv různé parametry, můžeme je rozdělit na přírodní a uměle vytvořené. Mezi přírodní se řadí svítání, soumrak, hustý déšť či sněžení nebo mlha, která má na viditelnost chodců vliv nejhorší. Mezi uměle vytvořené negativní vlivy se řadí oslnění. [24]

#### 3.1 Přírodní – mlha

Mlha je atmosférický aerosol, který je tvořen velmi malými vodními kapičkami, popřípadě drobnými ledovými krystalky rozptýlenými ve vzduchu, který výrazně zmenšuje dohlednost ve vodorovném směru při zemi minimálně v jednom směru do vzdálenosti jednoho kilometru. Protože se kapičky či ledové krystalky v mlze výrazně neusazují, nemají povahu klasických atmosférických srážek. Mlha má většinou bílé zbarvení, v případě znečištění ovzduší (například v průmyslových oblastech) může mít zbarvení šedé, žluté nebo hnědé barvy. Zvláštním případem je smog, který je směs kouře a mlhy. [25]

Klimatologové dělí mlhu podle intenzity a dohlednosti na čtyři stupně. Při dohlednosti 500–1000 m je mlha slabá, při dohlednosti 200–500 m je mlha mírná, při silné mlze je dohlednost 50–200 m, a když je dohlednost pod 50 metrů, jedná se o mlhu velmi silnou. Podle způsobu vzniku se mlhy rozlišují na mlhy advekční, radiační, svahové a frontální. Podle výšky se dělí na mlhy přízemní a mlhy vysoké. [25]



Obrázek 3.1: *Mlha na komunikaci [26]*

### 3.2 Umělé – oslnění

Oslnění je nepříjemný stav zraku, který ztěžuje, popřípadě znemožňuje vidění. Nízký stupeň oslnění většinou ani nepoznáme, ale často bývá příčinou únavy zraku. Vyšší stupeň oslnění ztěžuje vidění a dělá ho namáhavým. [27]

Oslnění vznikne, pokud se vyskytnou v zorném poli oka velké jasy nebo velké rozdíly jasů, dále může vzniknout při výskytu velkých časových nebo prostorových kontrastů jasů, které by překročily hranici adaptability oka. Podle příčiny vzniku se dělí na oslnění přímé, které je způsobeno vysokým jasnem svítidla, a oslnění odrazem, které je způsobeno odrazem svítících ploch od lesklých částí pozorovaného předmětu nebo předmětů v jeho bezprostřední blízkosti. Zvláštními případy oslnění jsou oslnění přechodové a oslnění závoje. Přechodové vznikne při rychlé změně, na kterou se oko nestihne adaptovat, závoje vznikne, pokud je před pozorovaným předmětem prostředí s vyšším jasnem (např. před světlomety při mlze). [7]



Obrázek 3.2: *Jasová mapa nevhodně zvolené osvětlovací soustavy [11]*

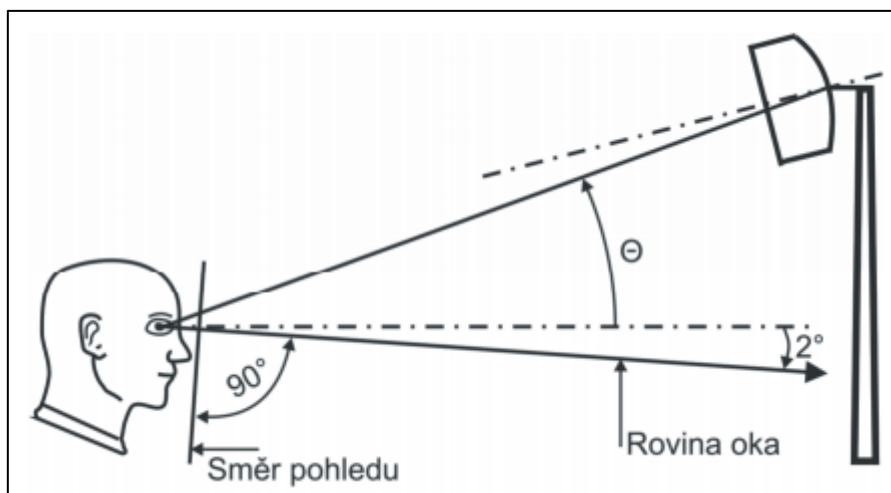
Přímé oslnění se u svítidel venkovní soustav veřejného osvětlení určuje pomocí metody CIE – GR podle vzorce:

$$GR = 27 + 24 \cdot \log_{10} \left( \frac{L_V}{L_{V_e}^{0,9}} \right) \quad (-; \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}, \text{cd} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (3.1) [11]$$

V rovnici 3.1 je GR oslnění,  $L_V$  je celkový závojeový jas, který způsobí osvětlovací soustava (součet závojeových jasů všech svítidel), a  $L_{V_e}$  je ekvivalentní závojeový jas pozadí. [11]

$$L_V = 10 \cdot \left( \frac{E_{eye}}{\Theta^2} \right) \quad (\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}; \text{lx}, ^\circ) \quad (3.2) [11]$$

Závojeový jas svítidla se vypočítá podle rovnice 3.2 jako podíl osvětlenosti oka pozorovatele  $E_{eye}$  v rovině kolmé na směr pohledu ( $2^\circ$  pod vodorovný směr viz *Obrázek 3.3*) ku kvadrátu úhlu  $\Theta$  mezi směrem pohledu pozorovatele a směrem dopadajícího světla od svítidla. [11]



Obrázek 3.3: Úhel mezi směrem pohledu a směrem světla od svítidla [11]

$$L_{Ve} = 0,035 \cdot \left( \frac{\rho \cdot E_{hav}}{\pi} \right) \quad (\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}; -, \text{lx},) \quad (3.3) [11]$$

Pokud se předpokládá, že je rovnoměrně rozptýlený odraz pozadí, může se podle rovnice 3.3 vypočítat ekvivalentní závojevý jas  $L_{Ve}$ ,  $\rho$  v rovnici je průměrný činitel odrazu a  $E_{hav}$  je průměrná horizontální osvětlenost prostoru.

## 4 Kontrolní srovnávací měření světlometů

Ve dnech 13.-16. listopadu 2018 jsem se aktivně zúčastnil kontrolního srovnávacího měření světlometů v Centru bezpečné jízdy LIBROS Ostrava. Jednalo se o měření dopravního prostoru v noci na vytvořené vzorové komunikaci, celé měření bylo prováděno v rámci řešení výzkumného úkolu VI2VS/571 programu BV III/1-VS – Analýza viditelnosti účastníků silničního provozu za účelem zvýšení jejich bezpečnosti za soumraku a v noci. Měření bylo prováděno pro celkem devět modelových situací – jednalo se o tři typy vozidel s odlišnými druhy světlometů (halogenové, xenonové a LED světelné zdroje), z nichž se každé vozidlo měřilo pro tři situace, které mohou běžně nastat v provozu, a to osvětlení komunikace světlomety v režimu potkávacích světel v kombinaci se zapnutým nebo vypnutým veřejným osvětlením a světlomety v režimu dálkových světel s vypnutým veřejným osvětlením. Měření dálkových světel se zapnutým VO nebylo změřeno, protože by tato situace ze zákona neměla nastat (dálková světla smí být použita jen pokud by vozovka nebyla dostatečně souvisle osvětlena).

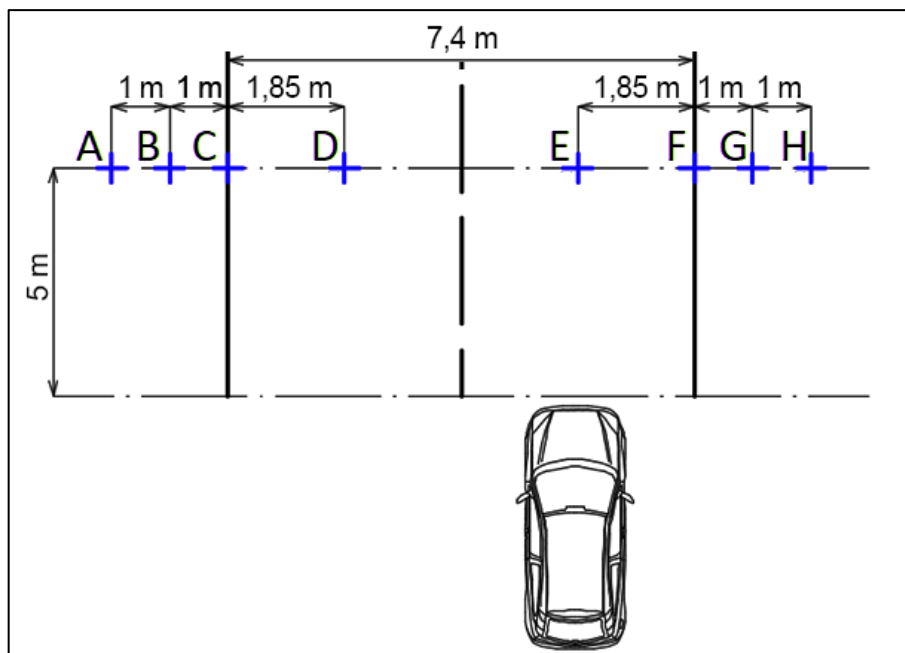
Osvětlení modelové komunikace odpovídalo podmínkám, které mohou běžně nastat na komunikaci v zastavěné části obce, na této komunikaci byla prováděna jasová analýza a měření vertikální osvětlenosti  $E_V$ , která je nezbytná pro posouzení viditelnosti objektů na komunikacích v noci.



Obrázek 4.1: Tým složený ze studentů VŠB-TUO a policistů dopravního policejního prezidia ČR, který prováděl měření na zkušebním polygonu v Centru bezpečné jízdy LIBROS

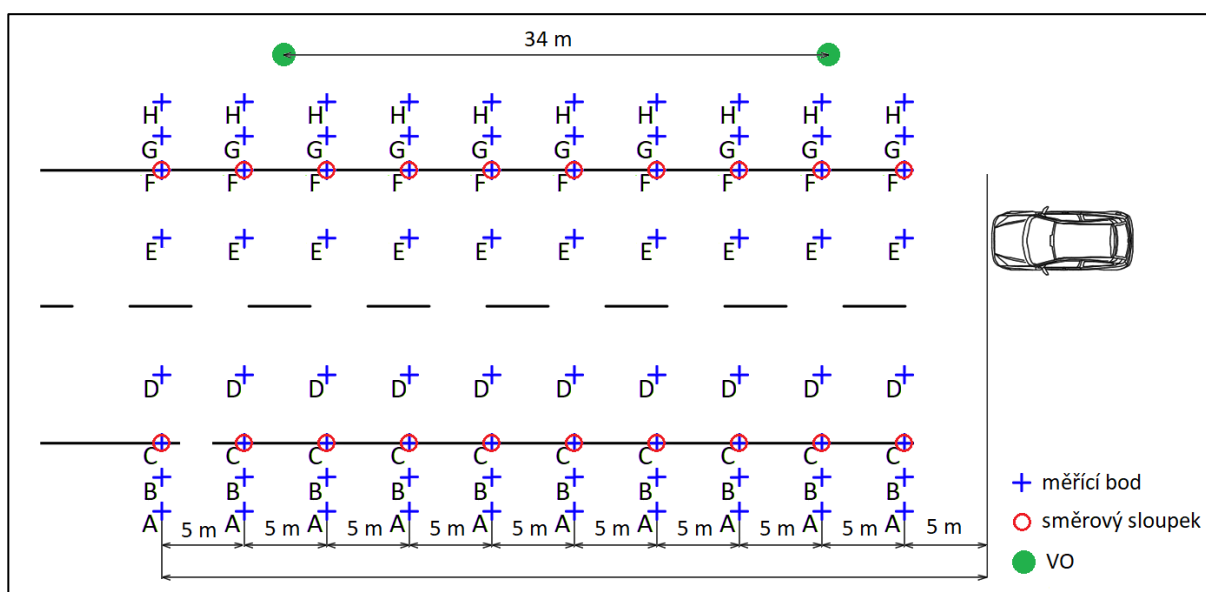
#### 4.1 Měření vertikální osvětlenosti

Cílem tohoto měření bylo porovnat rozložení vertikální osvětlenosti  $E_V$  rovného úseku modelové komunikace, která byla osvětlována světlomety s různými světelnými zdroji.



Obrázek 4.2: Pozice měřících bodů vertikální osvětlenosti  $E_V$

Pro měření  $E_V$  bylo rozměřeno deset řad měřících bodů ve vzdálenosti 5–50 metrů od auta a v každé řadě byly body A až H (viz Obrázek 4.2), které představovaly pravděpodobný výskyt překážek na silnici. Vertikální osvětlenost byla měřena ve výšce jednoho metru pomocí luxmetru s čočkou namířenou k řidiči měřeného vozidla, a to v každém z osmdesáti měřících bodů, měření probíhalo vždy jen do vzdálenosti, při které byla naměřená hodnota v bodě F větší než 1 lx, což by měla být hraniční hodnota pro dostatečnou viditelnost objektů na komunikacích.



Obrázek 4.3: Síť měřících bodů

Soustava veřejného osvětlení byla jednostranná s roztečí 34 metrů, svítidla byla osazena halogenidovými výbojkami 70 W s náhradní teplotou chromatičnosti 4000 K. Svítidlo mezi řadami měřících bodů 35 a 40 metrů bylo osazeno halogenidovou výbojkou 150 W s náhradní teplotou chromatičnosti také 4000 K. Osvětlení této komunikace zajišťovala osvětlovací soustava jednostranná pravá a šlo o komunikaci souvisle osvětlenou.

## 4.2 Výsledky měření

Pro přehlednost práce je zde uvedena jen jedna tabulka naměřených hodnot, protože byly naměřené hodnoty porovnávány pomocí grafů. Zbylé tabulky naměřených hodnot se nachází v přílohách.

V první části měření byla komunikace osvětlena pouze světlometry vozidla v režimu tlumených neboli potkávacích světél, tento případ může nastat na neosvětlené komunikaci v obci či mimo obec.

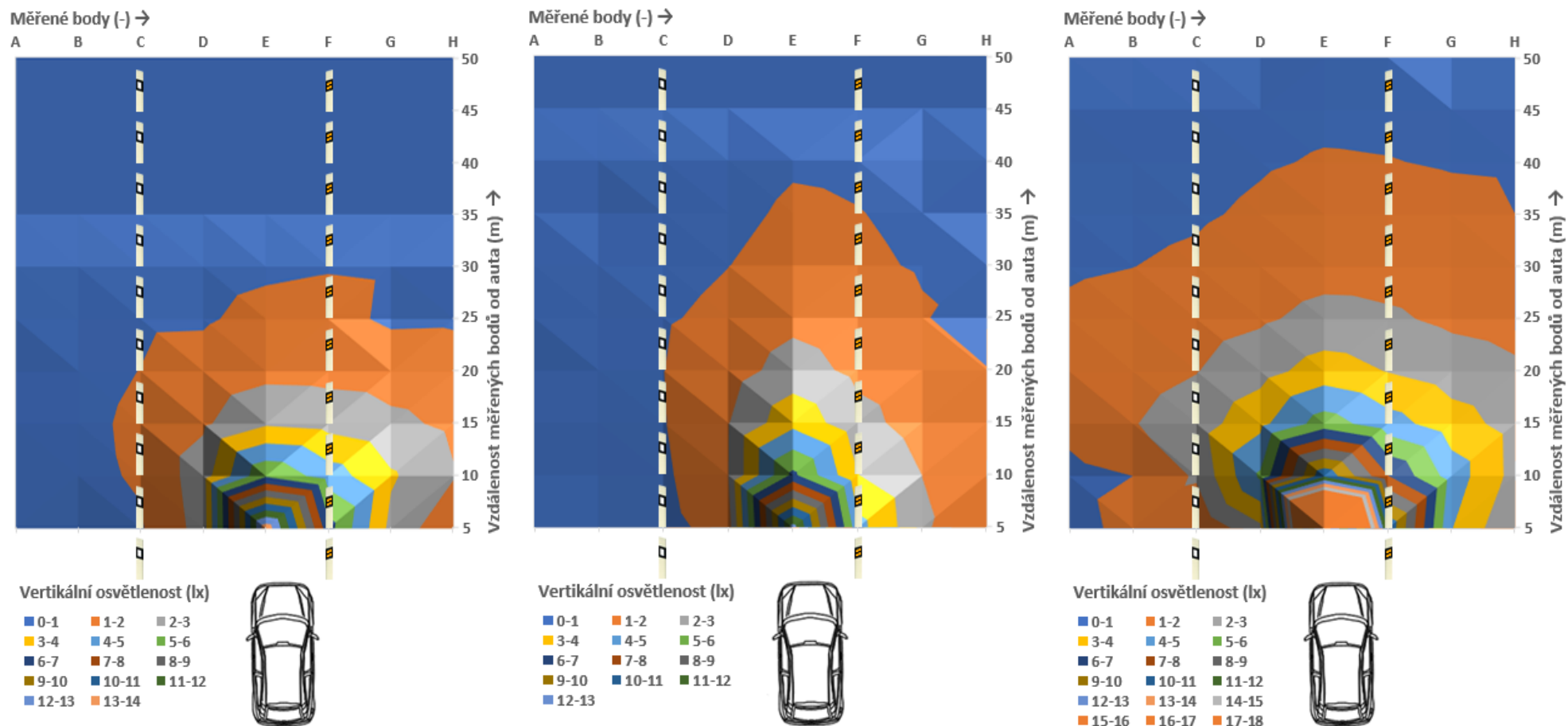
Tabulka 4.1: Naměřené hodnoty  $E_V$  pro xenonové světlometry bez veřejného osvětlení

Vzdálenost (m)	Vertikální osvětlenost v měřených bodech (lx)							
	A	B	C	D	E	F	G	H
5	0,446	0,515	0,916	2,399	13,75	6,38	2,71	1,16
10	0,571	0,814	1,08	2,55	5,88	4,53	3,13	2,07
15	0,645	0,878	1,1	1,85	2,87	2,66	2,22	1,81
20	0,593	0,825	1,01	1,29	1,71	1,67	1,57	1,42
25	0,692	0,713	0,901	0,919	1,22	1,28	0,86	0,887
30	0,621	0,635	0,68	0,737	0,876	0,954	0,906	0,882

Tabulka 4.1 ukazuje hodnoty  $E_V$  ve všech naměřených bodech v situaci, kdy vzorovou komunikaci osvětlovaly pouze xenonové světlometry v režimu tlumených světél, veřejné osvětlení tedy bylo vypnuto. V této tabulce je také vidět, že už ve vzdálenosti třiceti metrů bylo osvětlení komunikace menší než 1 lx, a proto jsme ve vzdálenějších bodech neměřili. Z těchto a z každých dalších naměřených hodnot jsem zkonstruoval povrchový obrysový graf, na kterém je rozložení osvětleností v prostoru vidět mnohem lépe.

V Obrázek 4.4 jsou vidět první tři obrysové grafy, a to ke každému světlometu v situaci potkávací světla bez VO. Na grafech je vidět rozložení naměřených hodnot vertikální osvětleností pro jednotlivé druhy světlometů. Na obrázku vlevo se nachází průběhy pro vozidlo s xenonovými světlometry, z kterého je vidět výborný ořez paprsků světla, který zabraňuje oslnění vozidel jedoucích v protisměru. Xenonové světlometry měly poměrně krátký dosvit, už ve vzdálenosti 30 metrů byly naměřené hodnoty menší než 1 lx. Další měřené byly světlometry halogenové, ty měly dosvit lepší téměř o 10 metrů. V poslední části obrázku je vidět rozložení  $E_V$  u LED světlometů, které měly požadovaný

## Rozložení naměřených hodnot – tlumená světla a zapnuté VO



Obrázek 4.4: Průběhy vertikálních osvětleností v situaci tlumená světla a vypnuté VO (vlevo xenonové / uprostřed halogenové / vpravo LED světlomety)



dosvit přes 40 metrů, potkávací osvětlení těchto světlometů zajišťuje výborné osvětlení nejen komunikace, ale i nástupních prostorů okolo silnice (levý prostor vedle silnice je dostatečně osvětlen do vzdálenosti 30 metrů), navíc je maximální hodnota osvětlenosti u LED světlometů téměř dvakrát větší než u světlometů halogenových či xenonových.

V druhé části měření osvětlovalo komunikaci spolu s tlumenými světlomety současně i veřejné osvětlení, tato situace běžně nastává v zastavěných částech obcí či měst. Rozložení naměřených hodnot je vidět na *Obrázek 4.5*. Z obrázku je patrné, že se při kombinaci světlometů a soustavy VO hodnoty vertikální osvětlenosti zvýší. Tento případ slouží hlavně pro vytvoření představy o rozložení vertikálních osvětleností v prostoru, protože pokaždé záleží na skutečném geometrickém uspořádání soustavy VO a také na vlastnostech jejich svítidel. Nicméně tento případ upozorňuje na fakt, že i kombinace tlumených světel světlometů a veřejného osvětlení nezaručuje dostatečné osvětlení objektů na komunikaci. V obrázku je vidět, že se na komunikaci nachází velký prostor s modrou barvou, tedy s vertikální osvětleností 1 lx a menší, jedná se o prostor, ve kterém si řidič myslí, že pokud svítí veřejné osvětlení, uvidí na komunikaci vše, bohužel ale i přes kombinaci potkávacích světel a veřejného osvětlení je tento prostor osvětlen nedostatečně a tím se objekty v něm stávají téměř neviditelné. Pokud by se tedy v tomto objektu nacházel např. chodec, který by přecházel cestu, všimne si jej řidič až ve chvíli, kdy bude vzdálenost taková, že nepůjde předejít srážce. Z průběhů je dále patrné, že v bodech G5 a H5 došlo k chybě měření (pravděpodobně odrazem světelných paprsků), protože se vertikální složka osvětlenosti objevila ještě před sloupem VO, což je fyzicky nemožné.

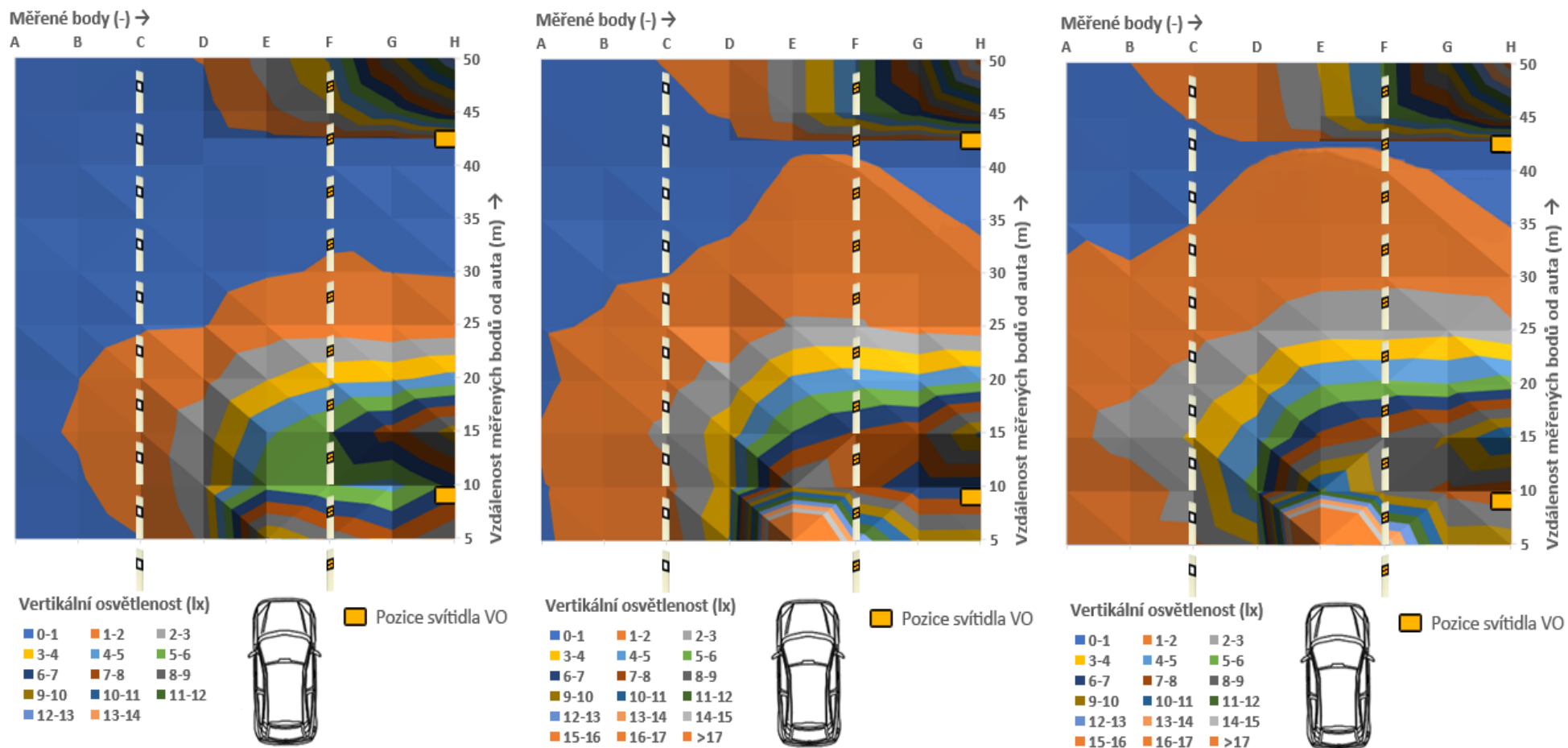
Tabulka 4.2: Brzdné dráhy při rychlosti 50 km/h [28]

	Rychlost vozu	Reakční dráha	Brzdná dráha	Dráha zastavení
<b>Suchá silnice</b>	50 km/h	14 m	14 m	28 m
<b>Mokrá silnice</b>	50 km/h	14 m	19 m	32 m

V třetí a poslední části měření bylo měřeno osvětlení komunikace pomocí světlometů v režimu dálkových světel, tímto měřením byla simulována situace, která běžně nastává na komunikacích mimo obec. Hodnoty naměřené v této části jsou vidět na *Obrázek 4.6*, z obrázku je patrné, že xenonové světlomety osvětlily komunikaci sice nejméně, ale i tak pro viditelnost objektů na komunikacích do vzdálenosti 50 metrů dostatečně. Z rozložení osvětleností uprostřed, tedy u halogenového světlometu, je vidět, že auto pravděpodobně stálo křivě, nicméně je i přesto pozorovatelné, že mají tyto světlomety daleko větší dosvit než světlomety xenonové. U LED světlometů je vidět daleko větší dosvit než u předchozích dvou, navíc také svítí mnohem více do šířky a umožňuje tak skvělou viditelnost (např. zvěře) ve větší vzdálenosti od komunikace.

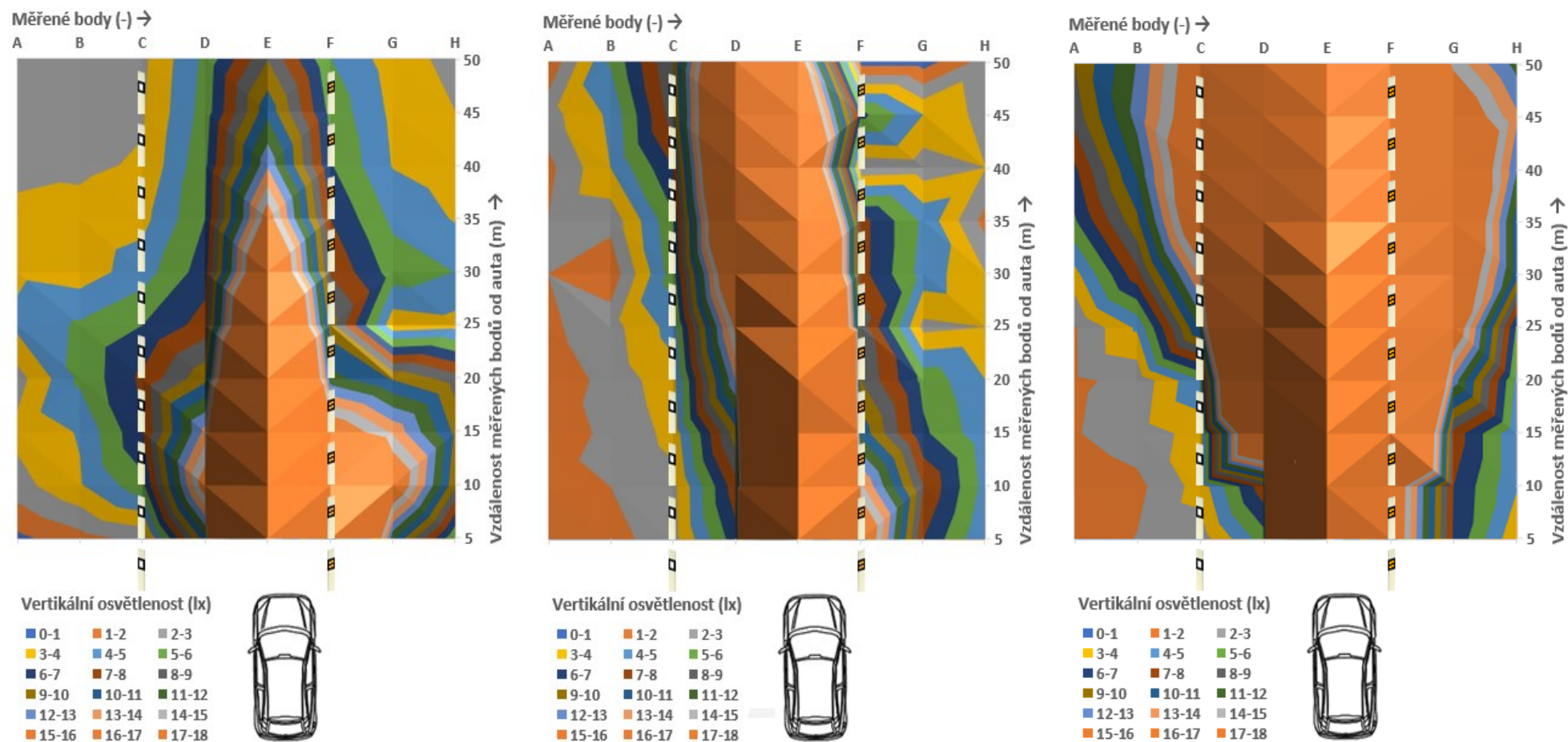
Pro důkladnější vyhodnocení svítivosti jednotlivých typů světlometů, a také pro vyloučení jejich špatného nastavení, by bylo ideální provést měření s větším množstvím vozidel, pro ideální vyhodnocení svítivosti dálkových světel by bylo potřeba prodloužit vzorovou komunikaci.

## Rozložení naměřených hodnot – tlumená světla a zapnuté VO



Obrázek 4.5: Průběhy vertikálních osvětleností v situaci tlumená světla a zapnuté VO (vlevo xenonové / uprostřed halogenové / vpravo LED světlomety)

## Rozložení naměřených hodnot – dálková světla a vypnuté VO



Obrázek 4.6: Průběhy vertikálních osvětleností v situaci dálková světla a vypnuté VO (vlevo xenonové / uprostřed halogenové / vpravo LED světlomety)

## 5 Návrh ideálního osvětlení pozemní komunikace

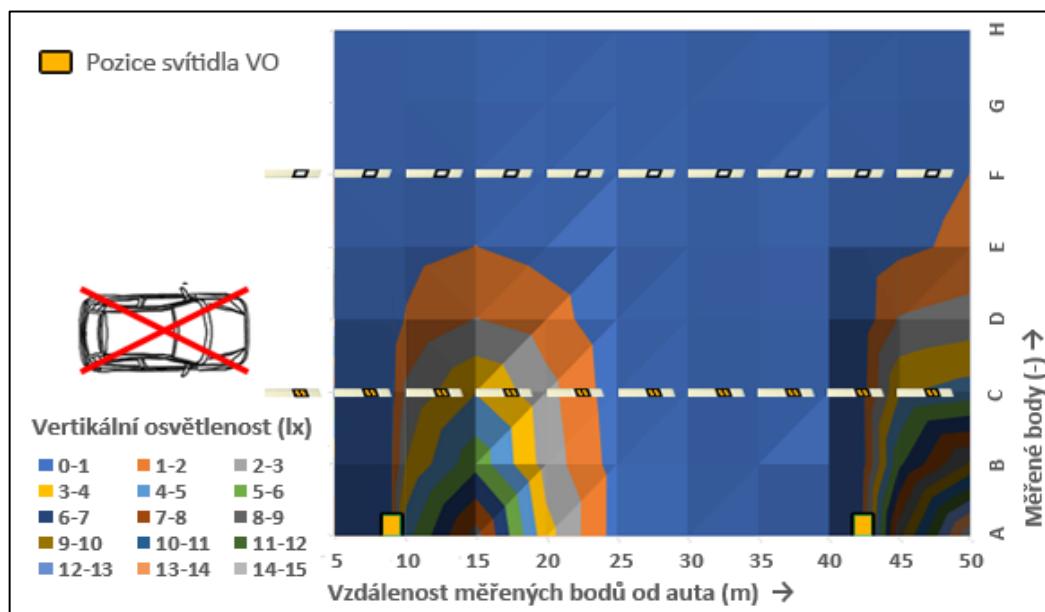
V rámci mé diplomové práce bylo jedním z dílčích úkolů navrhnout ideální osvětlení pozemní komunikace na základě kontrolního srovnávacího měření, a to pro zadané tři druhy reflektorů osobního automobilu. Měřením bylo zjištěno, že ani spojení tlumených světel světlometů auta spolu s veřejným osvětlením nezaručí dostatečnou osvětlenost objektů na komunikacích (hlavně před sloupy VO), a proto je jediným zaručeným způsobem pro zajištění dostatečné viditelnosti zlepšit soustavu VO nezávisle na světlometech projíždějících aut.

### 5.1 Simulace měření na modelové komunikaci

K navržení ideální soustavy VO, která by navazovala na předchozí měření, byly potřeba hodnoty vertikálních osvětleností  $E_v$ , které by byly získány čistě od soustavy veřejného osvětlení. Tyto hodnoty nebyly bohužel změřeny, takže musely být vypočítány z naměřených hodnot. Jako jediný způsob se nabízel výpočet z hodnot měření tlumených světel spolu se zapnutými nebo vypnutými svídky veřejného osvětlení. Z důvodu eliminace rozdílů osvětlenosti při různých typech světlometů byly vypočteny hodnoty každého bodu pro každý světlomet a následně byly hodnoty těchto tří světlometů zprůměrovány. Ve vzorci 5.1 je uveden příklad výpočtu pro bod C ve vzdálenosti 5 metrů od auta. První člen v každé závorce představuje hodnotu vertikální osvětlenosti v situaci, kdy komunikaci osvětluje příslušný světlomet v kombinaci s VO a druhý člen představuje hodnotu při osvětlení jen světlomety bez VO. Takto je vypočten každý z osmdesáti měřených bodů. Z takto vypočtených bodů byl opět sestrojen povrchový obrysový graf, tento graf je vidět na *Obrázek 5.1* a je z něj patrné, že osvětlení této soustavy je nedostačující.

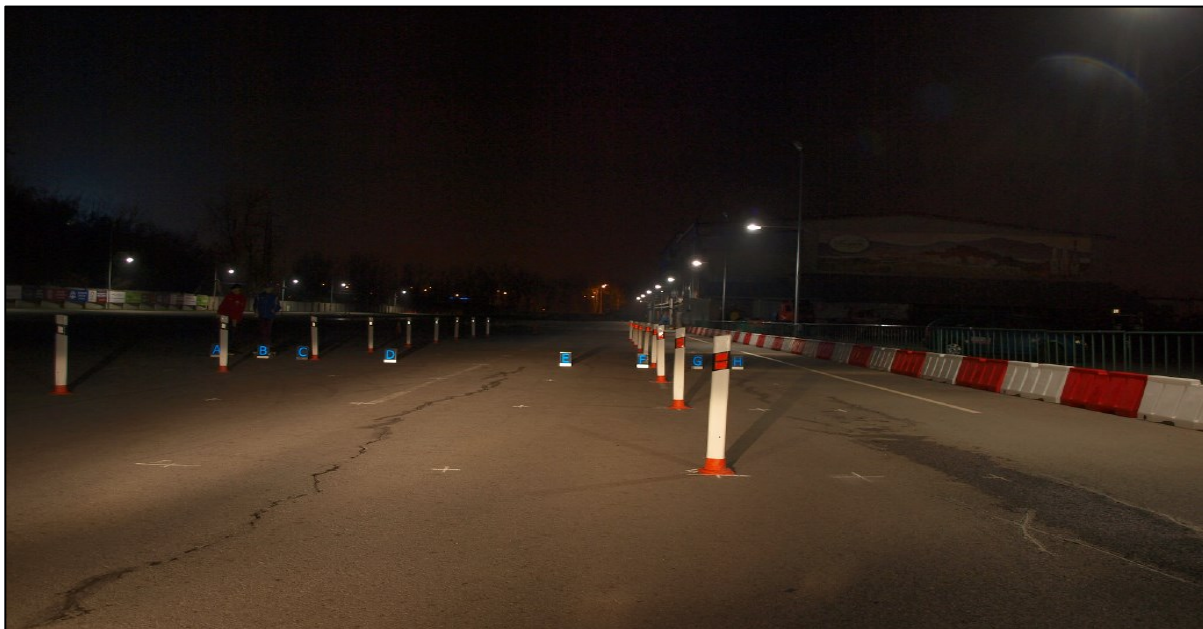
$$C_5 = \frac{(C_{5_{XEN+VO}} - C_{5_{XEN}}) + (C_{5_{HAL+VO}} - C_{5_{HAL}}) + (C_{5_{LED+VO}} - C_{5_{LED}})}{3} \text{ (lx)} \quad (5.1)$$

$$C_5 = \frac{(0,987 - 0,916) + (1,74 - 1,09) + (1,25 - 0,628)}{3} = 0,448 \text{ lx} \quad (5.2)$$



Obrázek 5.1: Průběhy vertikálních osvětleností pouze od VO

Podle předchozího průběhu vertikálních osvětleností bylo tedy potřeba navrhnout soustavu VO tak, aby poskytla stejné vertikální osvětlenosti. Toho bylo docíleno tak, že jsem v softwaru ReluxPro 2016 zvolil možnost projektu venkovního osvětlení otevřeného prostoru a v tomto režimu co nejpřesněji nasimuloval měření z předchozího bodu.



Obrázek 5.2: *Měřený modelový úsek komunikace*

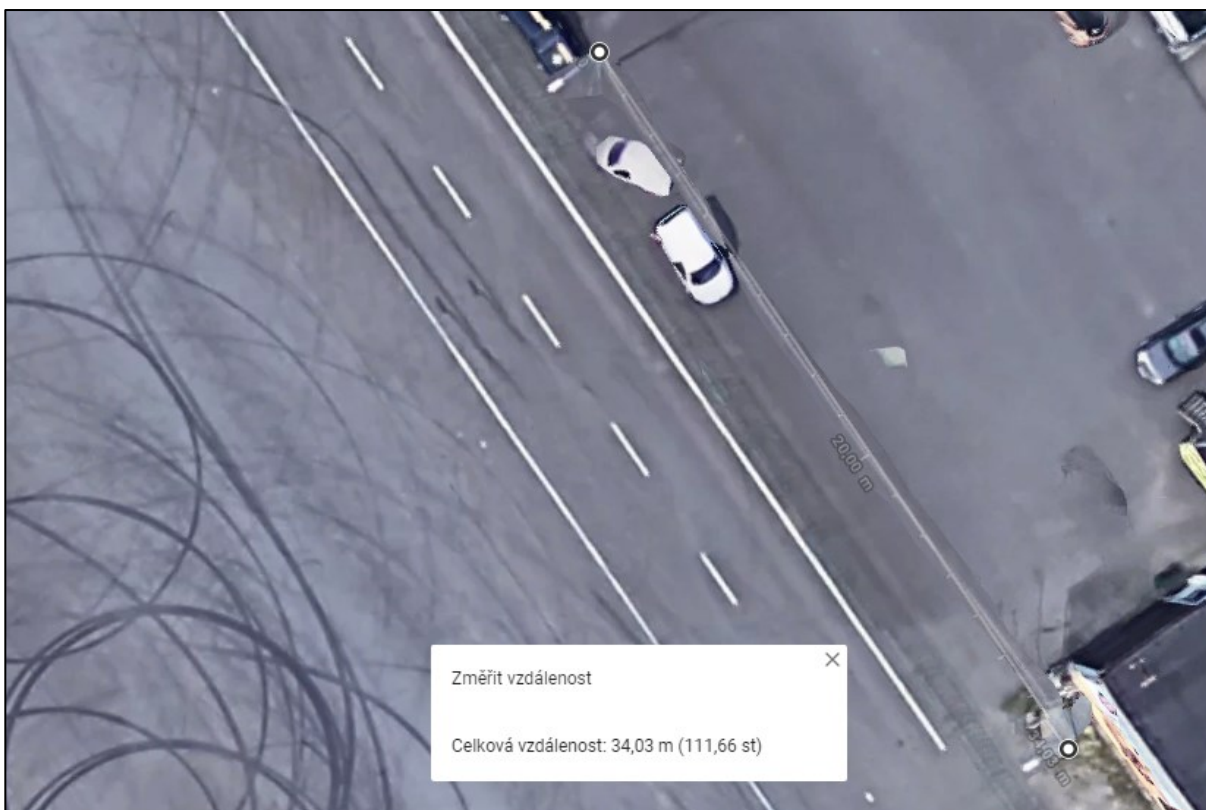
Na Obrázek 5.2 je vidět, jak reálně vypadal modelový úsek komunikace, na kterém bylo měřeno, rovněž jsou vidět i měřicí body označeny křížky, ve vzdálenosti dvaceti metrů jsou pak na těchto bodech postaveny cedule s písmeny A-H, kde je v levé nástupní části u písmene A postavena červená figurína a u písmene B figurína modrá.



Obrázek 5.3: *Modelový úsek komunikace nasimulovaný v softwaru ReluxPro*

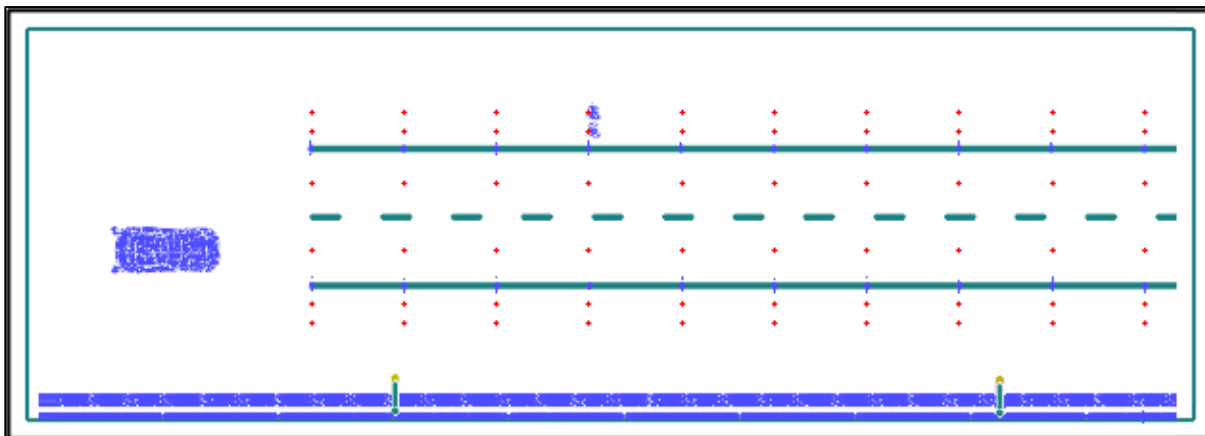


Pro porovnání je na *Obrázek 5.3* vidět, jak vypadá nasimulovaný modelový úsek komunikace z měření. Při konstrukci bylo nutností respektovat přesné geometrické rozložení osvětlovací soustavy vůči modelovému úseku a měřících bodů v něm, v programu ReluxPro tedy byla přesně vložena síť měřících bodů, tak jak je vyobrazena na *Obrázek 4.3*. Aby hodnoty odpovídaly měření, byla nutnost znát i přesné vzdálenosti sloupů VO, ty byly změřeny pomocí Mapy Google tak, jak je vidět na *Obrázek 5.4*.



Obrázek 5.4: Příklad měření vzdálenosti sloupů VO [29]

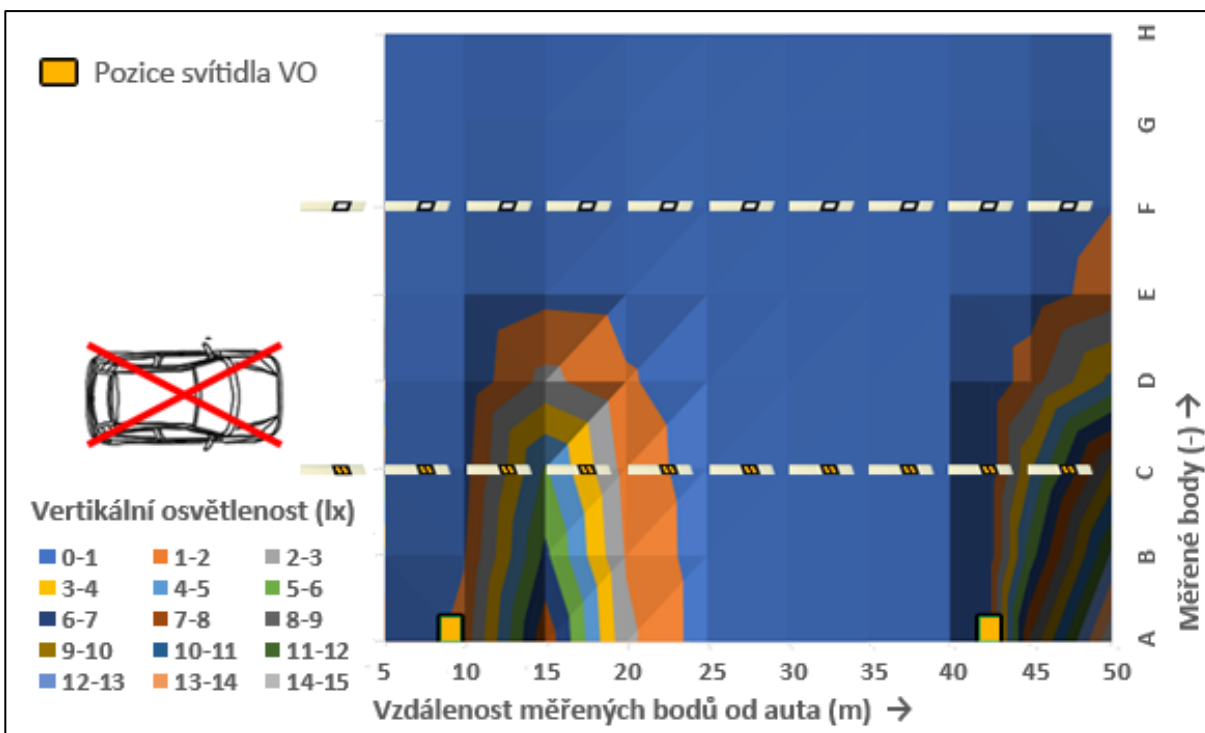
Po změření vzdálenosti bylo vše potřebné pro konstrukci projektu simulace měření a mohlo být vše rozmístěno tak, jak tomu při měření bylo. Jako základ projektu je plocha otevřeného prostoru pokrytá vrstvou asfaltu, který znázorňuje jeho textura. Vodorovné značení silnice (krajnice a středová čára) je vytvořeno z bílých kvádrů o výšce jednoho centimetru, směrové silniční sloupky jsou také složeny z různých kvádrů a jejich logických skupin Boolean, kdy bylo například zkosení oranžových odrazek na směrových sloupcích docíleno jako průnik dvou různých kvádrů. Sloupy jsou tvořeny také nástrojem kvádr, v jeho nastavení je ale typ změněn na kruhový o devíti segmentech. Silniční bariéry, plot, auto a figuríny chodců byly do projektu vloženy jako 3D objekty, které byly posléze upraveny podle potřeby. Jednotlivé měřící body jsou virtuální měřící plochy o velikosti jednoho centimetru ve výšce jednoho metru nad vozovkou (stejně jako u měření), které byly otočeny směrem k autu, měří tedy jen paprsky dopadající ze směru od řidiče a prezentují tak vertikální osvětlenosti  $E_V$ , kterou by mělo předměty, které by se v tomto místě nacházely. Výsledné rozmístění celého projektu je vidět na *Obrázek 5.5*.



Obrázek 5.5: Půdorys projektu v softwaru ReluxPro

Ve chvíli, kdy bylo potřeba do projektu vložit svítidla nastal ten problém, že nebyly k dispozici informace ani o typu svítidla z měření, ani o tom jaké se v nich přesně nacházely světelné zdroje. Bylo tedy potřeba vyzkoušet několik značek a typů, než byly nalezeny takové, které měly stejné vlastnosti a poskytovaly stejné vertikální osvětlenosti jako právě ty na polygonu Libros při měření.

Nejvíce vyhovovalo uliční svítidlo MODUS LV236 osazeno dvěma kompaktními zářivkami DL 36/840 s patící 2G11 o celkovém příkonu 72 W o celkovém světelném toku 5800 lm. Toto svítidlo vyhovovalo i přes to, že se nedisponovalo halogenidovými výbojkami, které byly pravděpodobně použity u soustavy VO, která osvětlovala komunikaci při měření. U svítidla mezi řadami 40 a 45 metrů, byl pravděpodobně z důvodu nefunkčnosti nahrazen jeden nebo oba dva světelné zdroje za silnější o celkovém světelném toku svítidla 11200 lm. Výsledné průběhy vertikálních osvětleností jsou vidět v Obrázek 5.6



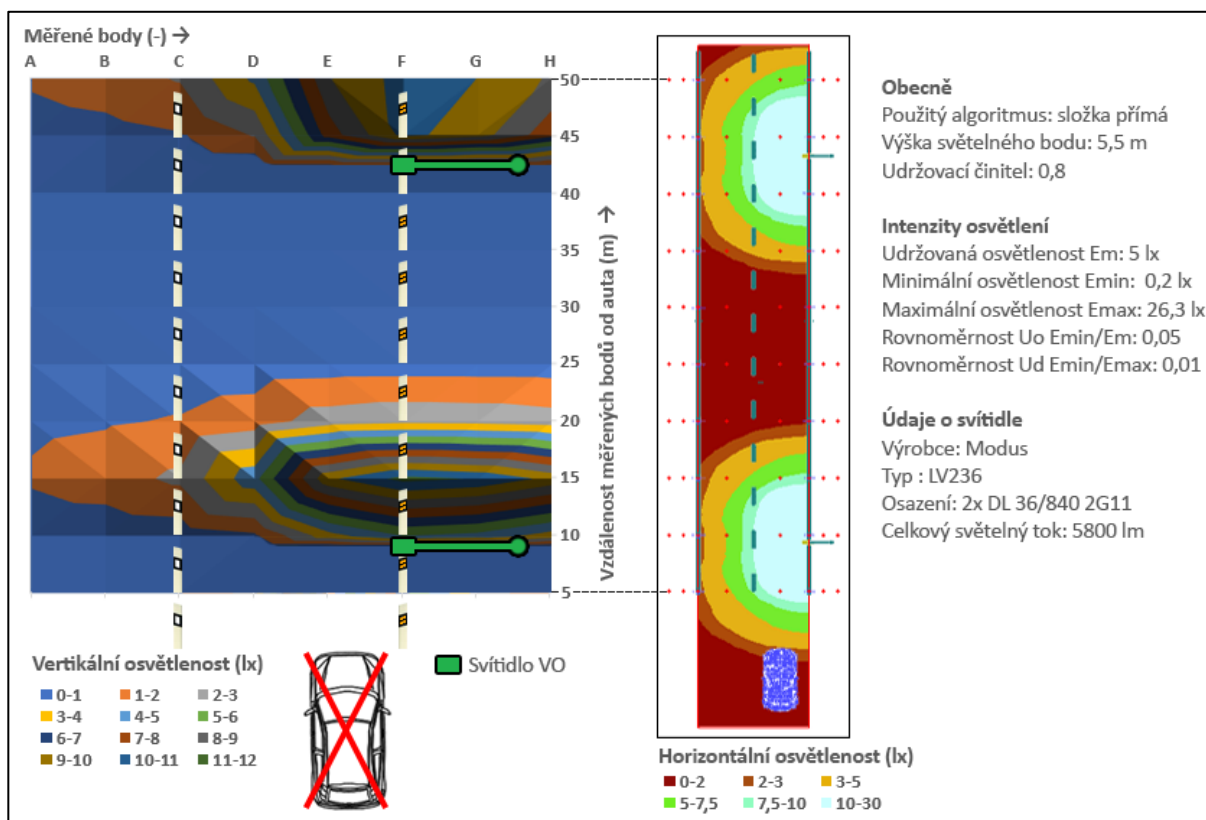
Obrázek 5.6: Průběhy vertikálních osvětleností od VO ze simulace v softwaru ReluxPro

## 5.2 Optimalizace současné soustavy VO

Z předchozího obrázku je zřejmý problém v nedostatečném osvětlení, soustava VO není schopná vygenerovat vertikální složku osvětlenosti takovou, aby dosvítila až k dalšímu sloupu. Na vině může být několik faktorů, a to výška či vyložení svítidla, špatně zvolená rozteč sloupů nebo nevhodně zvolena svítidla s ohledem na vyzařovací charakteristiku. Silnější svítidlo v projektu bylo nahrazeno svítidlem se světelným zdrojem stejným jako je ve zbytku soustavy. Při optimalizaci bude cílem docílit toho, aby splňovala podmínky osvětlení pro třídu P3 podle ČSN EN 13201-2, kterou by měla modelová komunikace představovat.

### 5.2.1 Optimalizace pomocí změny umístění svítidel

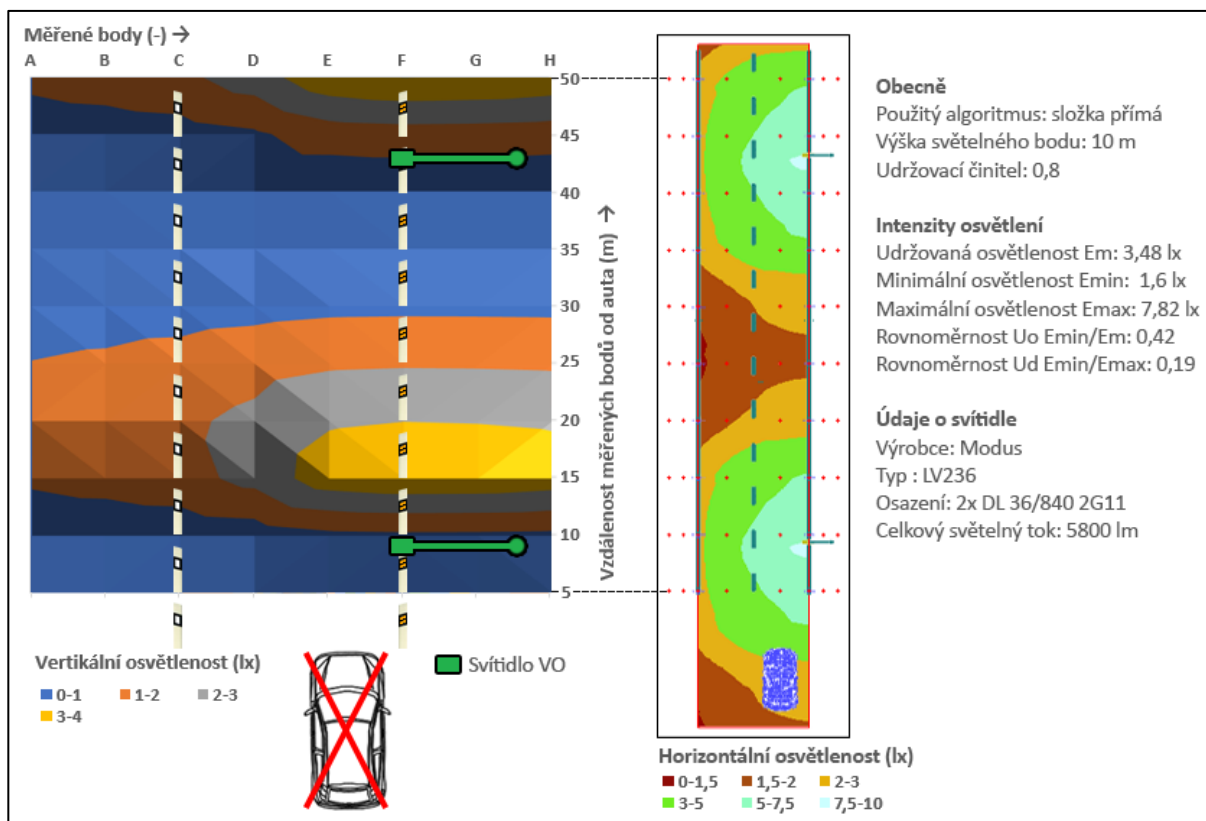
První změna, která se nabízí je změna vyložení, respektive posunutí celého sloupu VO. Při návrhu modelového úseku komunikace byla komunikace posunuta o šířku jednoho jízdního pruhu doleva (viz Obrázek 5.2), soustava VO se tedy od vozovky značně vzdálila, výsledek po posunutí je vidět na Obrázek 5.7.



Obrázek 5.7: Průběhy vertikálních a horizontálních osvětleností po posunutí VO

Sloupy byly posunuty tak, že se nyní nachází ve vzdálenosti 1,5 m od krajnice vozovky, při vyložení 1,5 m jsou teď svítidla na úrovni krajnice vozovky. Na obrázku výše je vidět, že i po posunutí soustavy VO se situace značně nezlepšila, soustava nyní nesplňuje ani podmínky třídy P6 a je nutno podniknout další kroky. Další možnost, která se nabízí, je zvednutí výšky umístění svítidel. Současná výška 5,5 m je při rozteči mezi sloupy 34 m málo. Běžná výška sloupů VO je až 6-12 metrů.





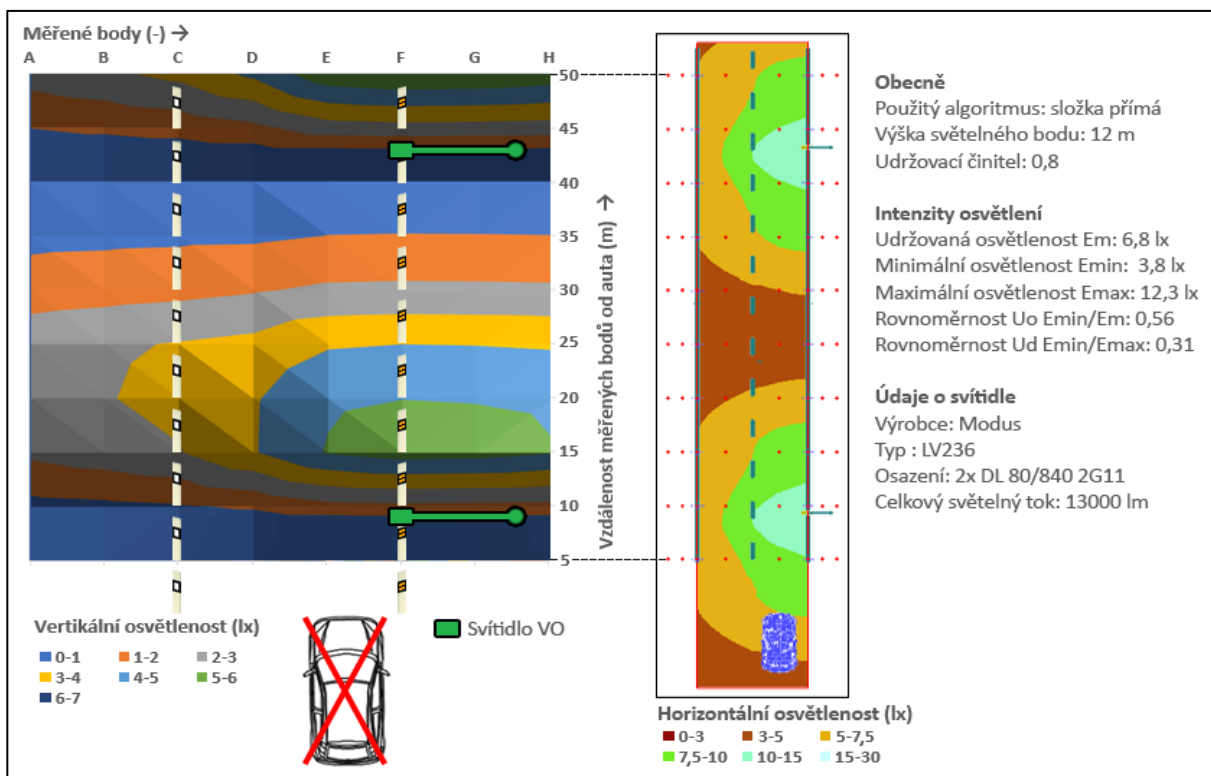
Obrázek 5.8: Průběhy vertikálních a horizontálních osvětleností po změně výšky svítidla

S rostoucí výškou svítidla roste minimální osvětlenost prostoru  $E_{min}$  a zároveň se zmenšuje udržovaná osvětlenost  $E_m$ . Při výšce devíti metrů stoupla hodnota  $E_{min}$  nad hranici požadovanou pro třídu P4 (1 lx), ale současně pod hranici  $E_m$  5 lx, znamená to tedy, že tohle svítidlo nemůže při zachování vzdáleností sloupů osvětlovat třídu vyšší než P5. Na Obrázek 5.8 jsou vidět osvětlenosti při výšce svítidla 10 m, na průběhu vertikálních osvětleností vlevo je vidět zlepšení o 5 metrů, nicméně i tak je osvětlení ve vzdálenosti 30–40 metrů nedostatečné.

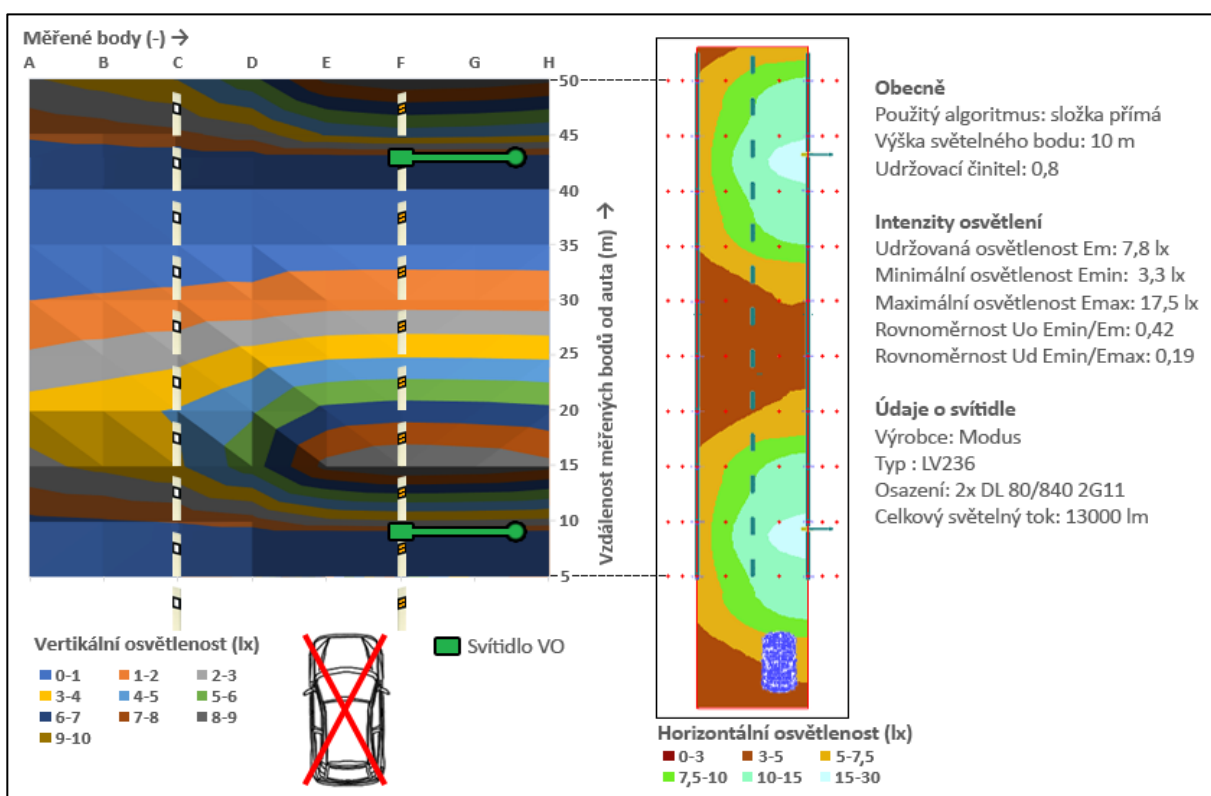
### 5.2.2 Optimalizace pomocí změny světelného zdroje

Pro zlepšení osvětlenosti se nabízí další možnost, a to výměna světelného zdroje DL 36/840 za silnější. Pro názornost byla vybrána nejsilnější vyráběná verze s patičí 2G11, a to DL 80/840 se světelným tokem 6500 lm, dohromady by mělo tedy jedno svítidlo světelný tok 13000 lm a příkon 180 W. Z důvodu co největšího využití výkonu byla svítidla zvednuta do výšky 12 m.

Na Obrázek 5.9 jsou vidět osvětlenosti po provedených změnách. U obou typů osvětlenosti jsou vidět znatelné rozdíly, u vertikálních osvětleností je lepší dohled o 5 m, u horizontálních nabývají hodnoty dvojnásobku oproti obrázku předchozímu (barvy jsou sice stejné, ale v legendě jsou vidět dvojnásobné hodnoty), nicméně i tak soustava splňuje jen podmínky třídy P4.



Obrázek 5.9: Průběhy vertikálních a horizontálních osvětleností po změně světelného zdroje



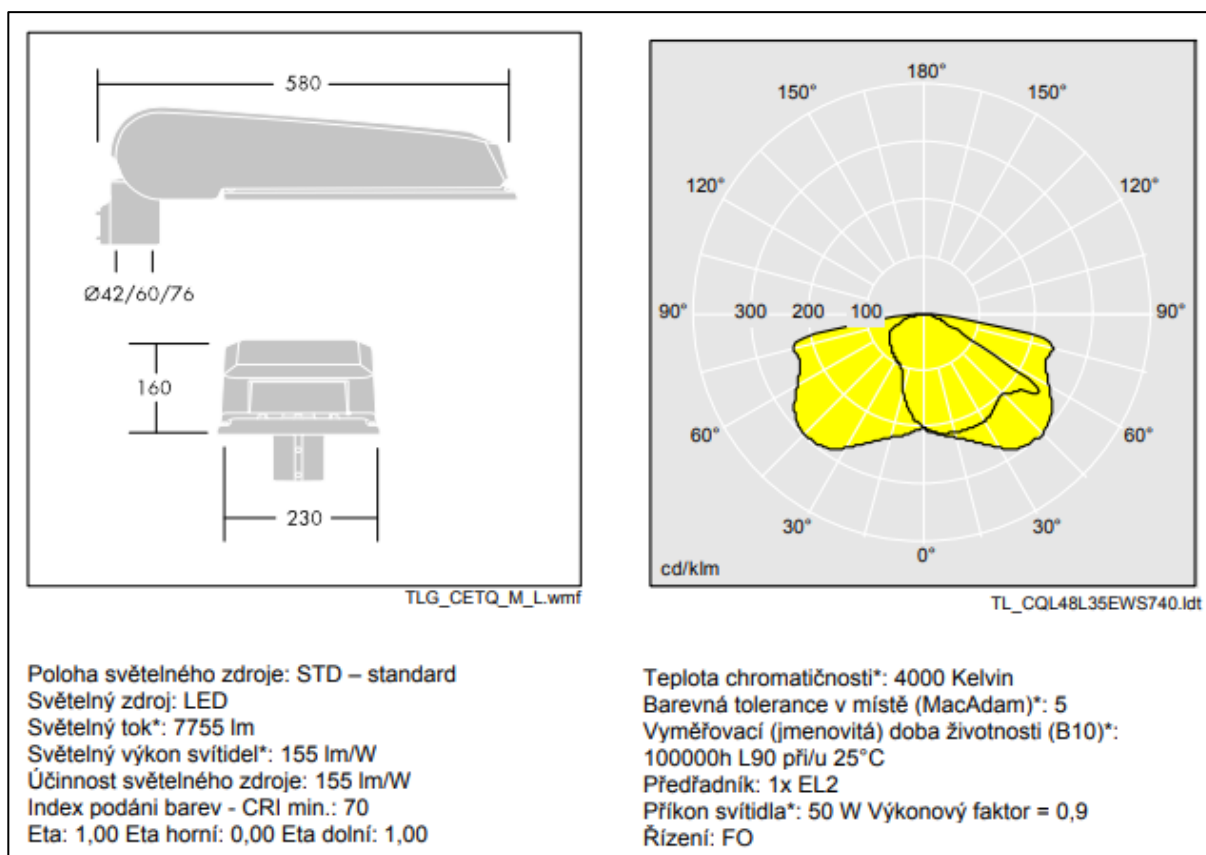
Obrázek 5.10: Průběhy vertikálních a horizontálních osvětleností po změně světelného zdroje a výšky

Paradoxem je, že pokud by se ve stejné soustavě změnila výška svítidel jen na 10 m, značně se tím zkrátí dosvit svítidel, navíc by se za sloupem VO objevila značně větší vertikální osvětlenost (viz *Obrázek 5.10*), která by při výjezdu ze tmy mohla vzhledem k adaptaci oka způsobit oslnění řidiče. I přes to všechno se ale zvýšila udržovaná osvětlenost a tím soustava začala splňovat parametry pro vyšší třídu osvětlení, konkrétně pro třídu P3.

### 5.2.3 Optimalizace pomocí změny celého svítidla

Z přechozích kroků vyplynulo, že jedinou možnou volbou pro zlepšení viditelnosti na komunikacích v noci je výměna celého svítidla za novější a modernější typ.

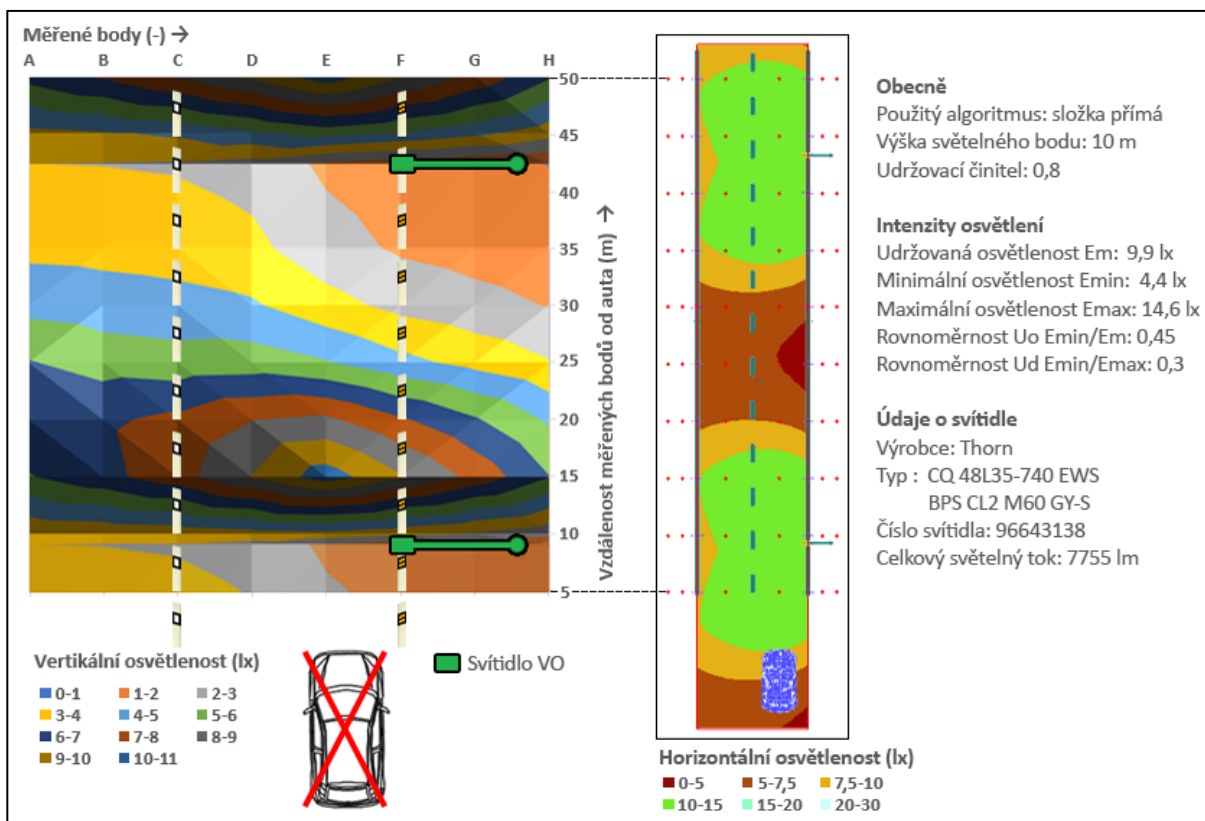
Pro optimalizaci soustavy VO byla vybrána svítidla CiviTEQ vyráběná firmou Thorn, přesněji z kategorie CiviTEQ Large s mimořádně širokou uliční optikou. Tato svítidla mají LED světelné zdroje s výborným měrným výkonem a dlouhou dobou životnosti.



Obrázek 5.11: Parametry svítidla CiviTEQ EWS [31]

Pro tuto soustavu VO bylo vybráno nejslabší svítidlo z řady široké optiky CQ 48L35-740 EWS BPS CL2 M60 GY-S o příkonu 50 W, oproti původnímu svítidlu má tedy menší příkon o 22 W, ale jeho světelný tok je 7755 lm, což je oproti původním 5800 lm více (další parametry viz *Obrázek 5.11*).

Při použití zmíněného svítidla CiviTEQ je na průbězích osvětleností na *Obrázek 5.12* vidět, že se charakter soustavy úplně změnil. Svítidla nyní generují takovou složku vertikální osvětlenosti, že by objekty na komunikacích v noci byly vidět ve všech částech komunikace, nejnižší naměřená hodnota je nyní v bodech před sloupy, a to konkrétně v bodech H5 a H40 (viz Tabulka B. v přílohách).



Obrázek 5.12: Průběhy vertikálních a horizontálních osvětleností při použití LED svítidla CiviTEQ

Z průběhů osvětleností je na Obrázek 5.12 je názorně vidět, jak moc výměna svítidla za modernější dokáže zlepšit podmínky pro viditelnost na komunikacích. Oproti starému svítidlu při stejné konfiguraci (viz Obrázek 5.8), začala soustava VO namísto třídy P5 splňovat podmínky pro třídu osvětlení P3 (téměř P2), navíc při úspoře 22 Wattů na každém svítidle.

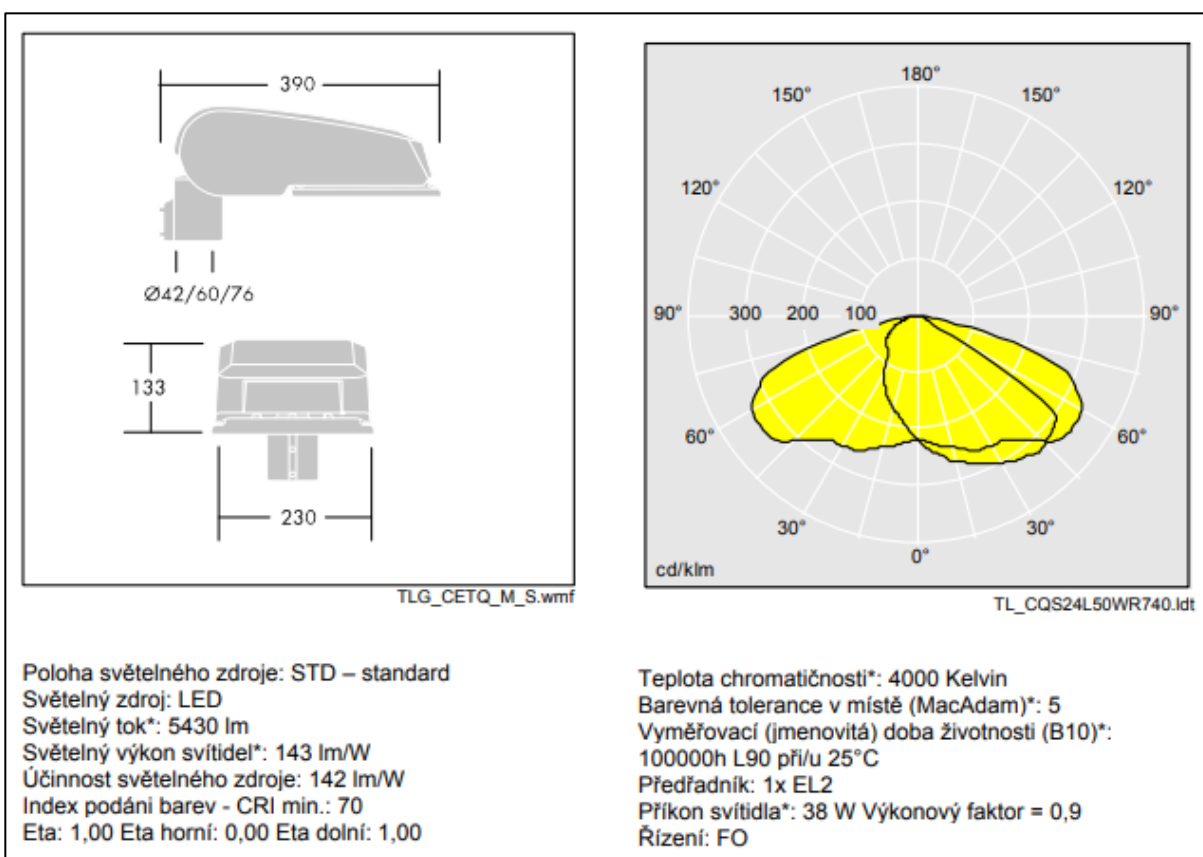


Obrázek 5.13: Svítidlo CiviTEQ od výrobce Thorn [30]

### 5.2.4 Optimalizace soustavy všemi prostředky

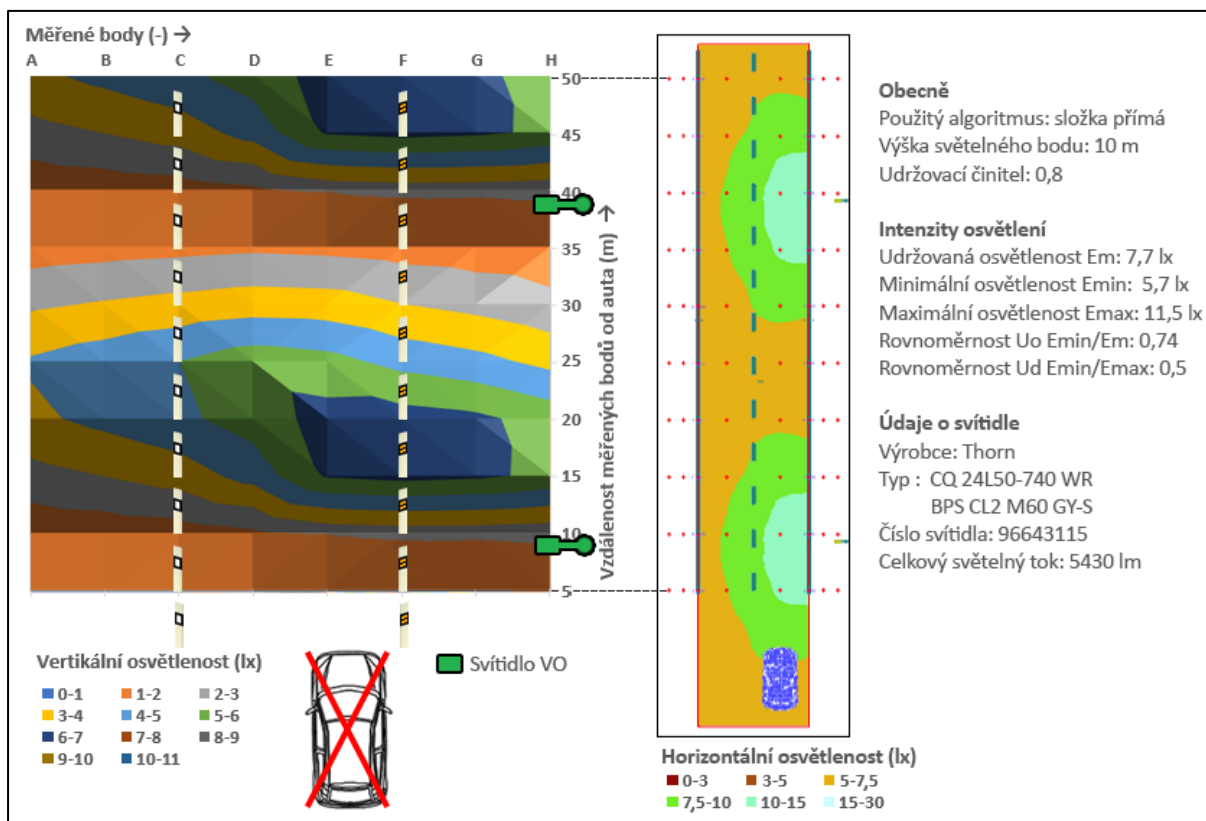
V předchozím bodě bylo dokázáno, jak velké změny jsou možné jen při výměně svítidla za novější, soustava VO má sice s novým svítidlem daleko lepší parametry, splňuje podmínky pro požadovanou třídu osvětlení P3, ale i tak se dá ještě optimalizovat. Právě proto jsem se rozhodl podniknout veškeré možné změny pro co největší zlepšení osvětlení a hospodárnosti osvětlení komunikace.

Prvním krokem ke zvětšení rovnoměrnosti osvětlení bylo zmenšení rozteče sloupů na 30 m. Dále bylo z *Obrázek 5.12* patrné příliš velké vyložení svítidla, z tohoto důvodu byly sloupky posunuty do vzdálenosti 2,5 m od krajnice vozovky a vyložení svítidla zmenšeno na 0,5 m, svítidlo se teď tedy nachází na úrovni 2 m od krajnice komunikace. Ze stejného obrázku je rovněž patrné značné předimenzování soustavy, proto bylo svítidlo vyměněno za jiné. Protože se ve stejné kategorii slabší svítidlo než zvolené s příkonem 50 W nevyrábí, bylo vybráno svítidlo z kategorie CiviTEQ Small se širokou silniční optikou (z důvodu zmenšení rozteče sloupů už nebylo vybíráno z kategorie s mimořádně širokou optikou), konkrétně byl vybrán model CQ 24L50-740 WR BPS CL2 M60 GY-S. Oproti předchozímu se liší ve velikosti, příkonu, měrném výkonu, a hlavně ve vyzařovací charakteristice (viz *Obrázek 5.14*).



Obrázek 5.14: Parametry svítidla CiviTEQ WR [31]





Obrázek 5.15: Průběhy vertikálních a horizontální osvětleností po optimalizaci soustavy

Po optimalizaci soustavy VO je z Obrázek 5.15 zřejmé daleko lepší rozložení jak vertikálních, tak i horizontálních osvětleností. Soustava splňuje požadavky pro třídu osvětlení P3, a navíc má oproti původní soustavě jen poloviční příkon.

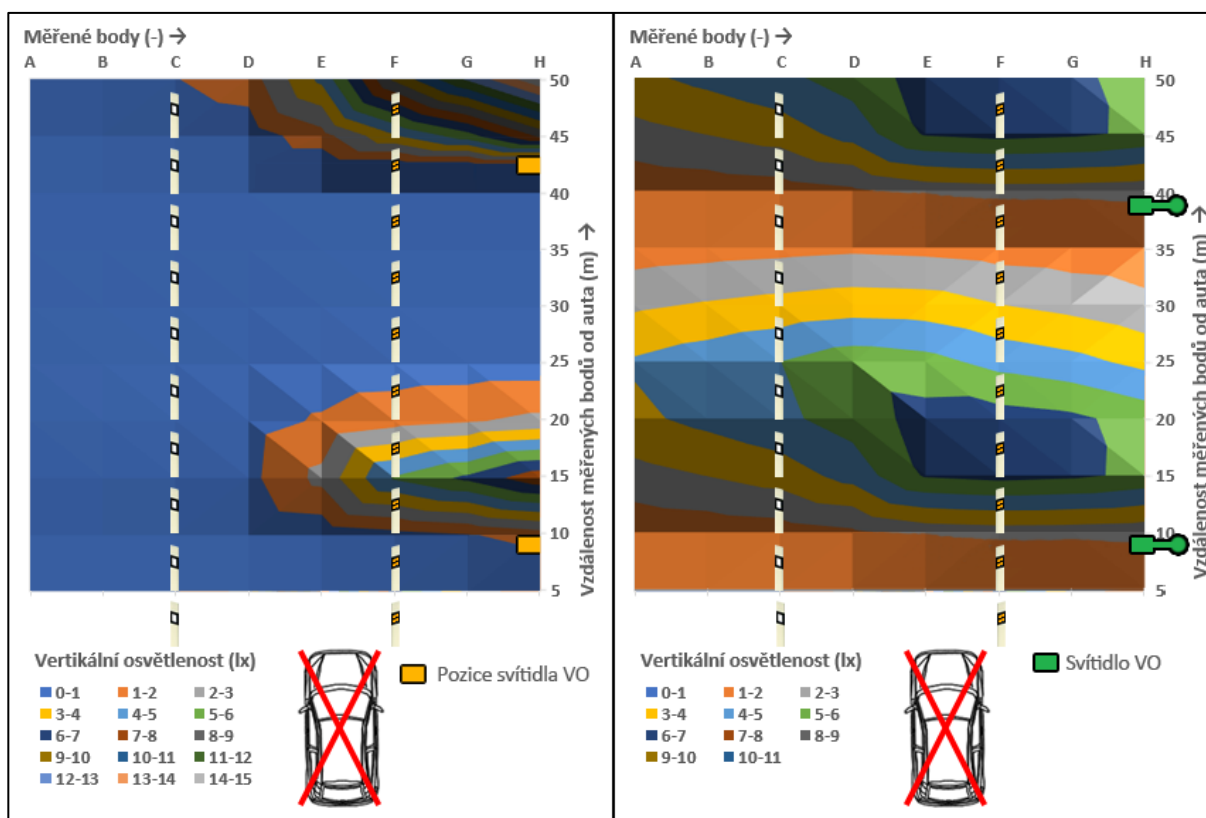


Obrázek 5.16: Osvětlení modelového úseku komunikace po optimalizaci soustavy

### 5.3 Porovnání soustavy VO před a po optimalizaci

Soustava veřejného osvětlení je po optimalizaci lepší v mnoha směrech, jak v distribuci vertikálních a horizontálních osvětleností, tak v hospodárnosti provozu, protože má oproti původní soustavě jen poloviční příkon. Původní svítidla soustavy měla příkon 78 W, ale i přes to nesplňovalo osvětlení na modelovém úseku komunikace ani podmínky pro nejnižší třídu P6. Při optimalizaci byla změněna výška a vyložení svítidel, rozteč mezi sloupy i svítidla samotná. Optimalizovaná soustava má moderní LED svítidla CiviTEQ od výrobce Thorn s příkonem jen 38 W, která jsou na sloupech 10 metrů vysoko, což je oproti původní soustavě o 4,5 metrů výše. Díky optice těchto svítidel nyní soustava splňuje podmínky pro třídu osvětlení P3, tak jak bylo záměrem páteho bodu diplomové práce.

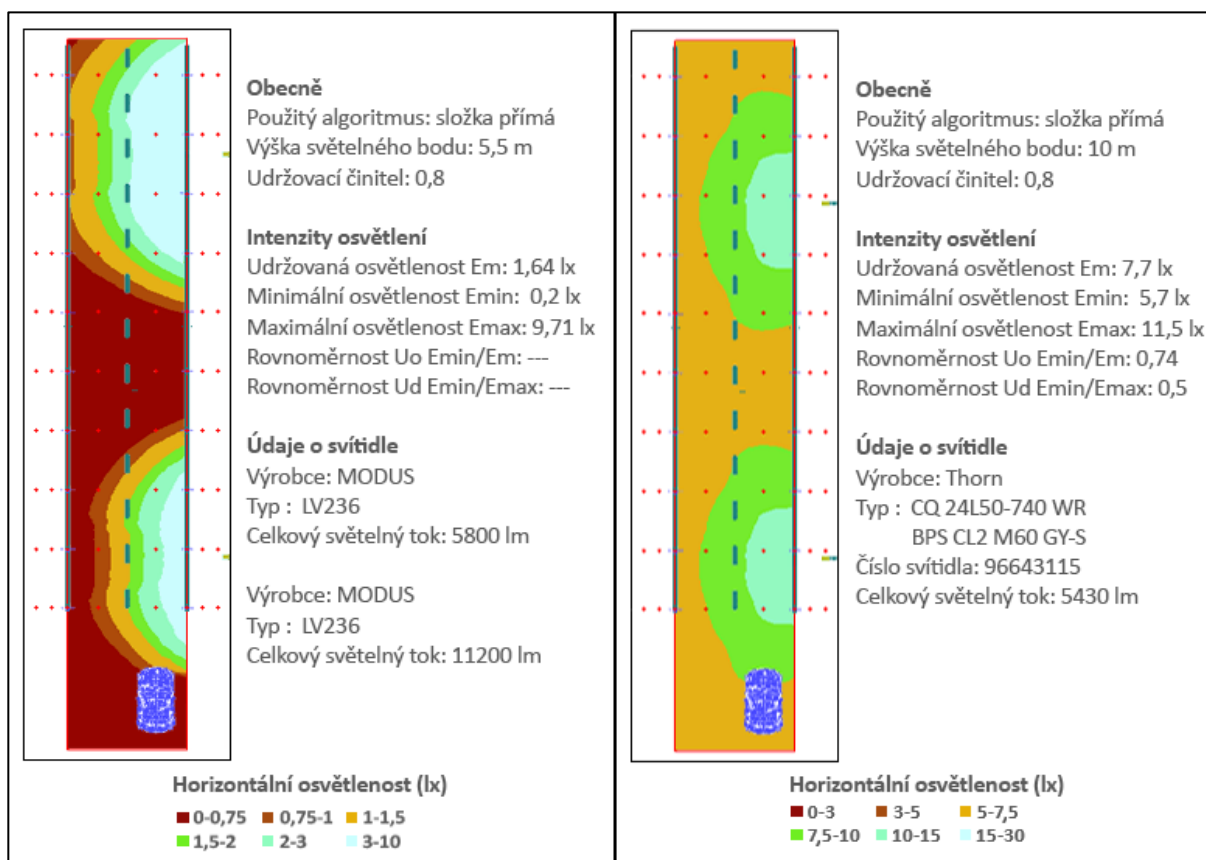
Z hlediska viditelnosti objektů na komunikacích v noci je důležité, aby soustava VO byla schopna generovat vertikální složku osvětlenosti po celé délce komunikace. Na *Obrázek 5.17* je v tomto směru zřejmá razantní změna. Původní svítidla generovala vertikály pouze do vzdálenosti 15 metrů od sloupu, což je při rozteči 34 m opravdu málo, a pokud by komunikací projíždělo vozidlo, kterému by světlomety svítily hůře, staly by se objekty na vozovce velmi špatně viditelné (viz Rozložení naměřených hodnot – tlumená světla a zapnuté VO). Soustava po optimalizaci generuje vertikály po celé délce vozovky, což zaručuje dostatečnou viditelnost objektů i při špatné svítivosti světlometů vozidla.



Obrázek 5.17: Porovnání průběhů vertikálních osvětleností  
(vlevo původní soustava / vpravo po optimalizaci)

Z Obrázek 5.17 je patrné, že u průběhů vertikálních osvětleností původní soustavy vlevo je VO znázorněno oranžovou barvou, zatímco v soustavě po optimalizaci vpravo barvou zelenou. Je to proto, že oranžová barva znázorňuje jen pozici vzhledem ke vzdálenosti od automobilu, nejedná se tedy o přesné umístění, protože se svítidla VO nachází v takové vzdálenosti od krajnice, že by se do obrázku nevešly. Zelená barva znázorňuje přesné umístění svítidel, a to i včetně sloupů a výložníků.

Původní soustava nevyhovovala z hlediska horizontálních osvětleností, kvůli minimální osvětlenosti 0 lx a udržované osvětlenosti pod 2 lx absolutně nesplňovala podmínky ani pro nejnižší třídu osvětlenosti P6. Soustava po optimalizaci splňuje parametry pro třídu osvětlení P3, kterou měl modelový úsek komunikace představovat. Rozdíl v průběhu horizontálních osvětleností je znatelný, nyní je na celé komunikaci osvětlenost minimálně 5,7 lx (viz Obrázek 5.18).



Obrázek 5.18: Porovnání průběhů horizontálních osvětleností  
(vlevo původní soustava / vpravo po optimalizaci)



## 6 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo provést návrh ideálního osvětlení pozemní komunikace v návaznosti na kontrolní srovnávací měření světlometů v Centru bezpečné jízdy LIBROS Ostrava.

V prvním bodě měření, kdy komunikaci osvětlovaly jen světlomety automobilu v režimu tlumených neboli potkávacích světel, bylo zjištěno, že xenonové světlomety měly dosvit pouze necelých 30 metrů a tlumená světla halogenových světlometů vykazovala dosvit téměř 40 metrů. Přes 40 metrů dosvítily jen LED světlomety, které nejen že měly největší dosvit, ale osvětlily komunikaci i do mnohem větší šířky, čímž jako jediné osvětlily i levý nástupní prostor. V dalším bodě, kdy spolu s tlumenými světly svítilo i veřejné osvětlení, bylo zjištěno, že ani kombinace potkávacích světel se soustavou veřejného osvětlení, nezaručuje dostatečnou viditelnost objektů na komunikacích v noci. Může tedy nastat situace, kdy řidič spatří objekt či chodce na vozovce až ve chvíli, kdy už není schopen zabrzdit a předejít srážce, obzvlášť na mokré vozovce. V posledním bodě byla měřena situace, která běžně nastává na komunikacích mimo obec, a to dálková světla bez veřejného osvětlení. Jelikož bylo měření prováděno na úseku dlouhém jen padesát metrů, jde z průběhů vertikálních osvětleností poznat pouze to, že i přes slabou svítivost xenonových světlometů je osvětlení na celém úseku dostačující, totéž platí i u zbylých dvou typů světlometů. U LED světlometů je zřejmý nejen daleko větší dosvit do dálky, ale i osvětlení komunikace do šířky.

Aby bylo možné navrhnout soustavu veřejného osvětlení v návaznosti na měření, bylo potřeba měření nasimulovat ve výpočtovém softwaru, a to konkrétně v programu ReluxPro, ve kterém byly zpracovávány všechny výpočty v této diplomové práci. Simulací byly zjištěny přesné pozice svítidel vzhledem k měřeným bodům a také charakteristiky svítidel použitých při osvětlování modelového úseku komunikace. Výstupem z této části jsou průběhy vertikálních osvětleností, které vykazovaly téměř stejné hodnoty jako průběhy z naměřených hodnot.

Na základě znalostí přesného geometrického rozložení sloupů se svítidly a parametrů svítidel samotných, bylo možné provést optimalizaci změnou jednotlivých vlastností soustavy, potřebnou pro splnění podmínek osvětlení třídy P3, kterou měla komunikace představovat. Prvním krokem bylo posunutí svítidel blíže k vozovce, přičemž ani posunutí svítidel na hranici krajnice komunikace nepomohlo soustavě splnit podmínky, které jsou kladeny pro nejnižší třídu osvětlení P6. Další částí optimalizace bylo zvednutí svítidel z dosavadní výšky 5,5 metrů do výšky 10 metrů, při které soustava generovala nejprůběžnější osvětlenosti. Tato změna pomohla soustavě splnit podmínky pro třídu P5, což ale bylo pro modelovou komunikaci nedostatečné. Pro zlepšení osvětleností bez výměny svítidel se nabízelo změnit jen osazení svítidel. Původní dva světelné zdroje s příkonem 2 x 36 W (kompaktní zářivky DL 36/840), které měly stejné vlastnosti jako halogenidové výbojky z měření, byly vyměněny za silnější. Pro názornost byly vybrány nejsilnější vyráběné se stejnou paticí 2G11, konkrétně DL 80/840. Každé svítidlo tak mělo příkon 2 x 80 W a celkový světelný tok 13000 lm. Při umístění svítidel do výšky 12 metrů soustava generovala vertikální osvětlenosti do vzdálenosti 25 metrů od svítidla, což je při rozteči sloupů 34 metrů stále málo. Z hlediska horizontálních osvětleností začala soustava sice generovat dvojnásobné hodnoty, i tak ale splnila jen podmínky třídy P4. Paradoxním zjištěním bylo, že při umístění stejných svítidel do výšky 10 metrů soustava začala splňovat potřebné podmínky pro třídu P3 i přes to, že se značně snížil dosvit. Navíc se za sloupem veřejného osvětlení objevila značně větší vertikální osvětlenost, která by při výjezdu ze tmy mohla vzhledem k adaptaci oka

způsobit oslnění řidiče. Z předchozích kroků pro optimalizaci vyplynulo, že jediným možným krokem ke zlepšení viditelnosti na komunikacích v noci je výměna svítidel za novější a modernější. Vzhledem k rozteči soustavy bylo vybráno svítidlo CiviTEQ s mimořádně širokou optikou, vyráběno firmou Thorn, které má při příkonu 50 W světelný tok 7755 lm. Při použití těchto svítidel se zachováním původních podpěrných bodů byla i přes menší příkon oproti původním svítidlům daleko lepší jak vertikální, tak horizontální osvětlenost. Svítidlo CiviTEQ generuje takovou vertikální složku osvětlenosti, že by byly objekty na komunikaci vidět v jakémkoliv místě. Soustava začala splňovat podmínky pro třídu osvětlení P3, téměř až P2, z čehož ale vyplývá, že by byla zbytečně předimenzovaná.

V další části byla soustava optimalizována za pomoci změny všech možných parametrů. Z důvodu zvětšení rovnoměrnosti osvětlení byla rozteč sloupů zmenšena na 30 metrů, z důvodu menší rozteče pak bylo vybráno svítidlo s užší charakteristikou a z důvodu hospodárnosti s menší spotřebou. Výsledkem je soustava, která dokonale osvětlí komunikaci po celé délce a splňuje požadavky pro třídu osvětlení P3. Navíc má oproti původním svítidlům jen poloviční příkon.

Optimalizovaná soustava je oproti původní lepší ve všech směrech, generuje vertikální osvětlenosti po celé délce komunikace, takže zaručuje viditelnost objektů na komunikaci v noci v každém místě, a to i v případě, že by po vozovce projíždělo vozidlo se světlomety se zhoršenou svítivostí. Původní soustava generovala vertikální osvětlenosti jen do vzdálenosti 15 metrů od svítidla, což bylo absolutně nevyhovující. Dalším přínosem je hospodárnost soustavy, protože má jen poloviční spotřebu elektrické energie. Ačkoliv mají svítidla nízký příkon, je na celé komunikaci horizontální osvětlenost minimálně 5,7 lx, zatímco v původní soustavě klesla až na 0,2 luxů.

Dílčí bod diplomové práce, který je zaměřen na měření na komunikaci byl řešen v rámci výzkumného úkolu VI2VS/571 programu BV III/1-VS s názvem Analýza viditelnosti účastníků silničního provozu za účelem zvýšení jejich bezpečnosti za soumraku a v noci. Součástí závěrečné práce je vyhodnocení tohoto měření a rovněž návrh ideální soustavy veřejného osvětlení, která zajišťuje dostatečnou viditelnost na komunikaci v noci.

Díky vypracování této diplomové práce jsem si zdokonalil znalosti a dovednosti ve výpočtovém softwaru ReluxPro a mohl jsem se podrobněji věnovat problematice veřejného osvětlení, které bych se chtěl věnovat i nadále po ukončení studia.

## Použitá literatura

- [1] Potenciál energetických úspor VO v ČR [online]. [cit. 2018-11-25]. Dostupné z: [http://www.csorsostrava.cz/publikace/Potencial\\_energetickych\\_uspor\\_VO\\_v\\_CR.pdf](http://www.csorsostrava.cz/publikace/Potencial_energetickych_uspor_VO_v_CR.pdf)
- [2] SKÁLA, Jiří. Kde končí legislativní podpora kvalitního osvětlení dopravního prostoru?. In: Kurz osvětlovací techniky XXXIV: 8. října – 10. října 2018, hotel Dlouhé stráně, Loučná nad Desnou. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2018. s. 182-184. ISBN 978-80-248-4221-9
- [3] Zatřídění komunikací do tříd [online]. [cit. 2018-12-01]. Dostupné z: <https://www.vhodne-uverejneni.cz/index.php?m=xenorders&h=orderdocument&a=download&document=1676788&token=ent&a=download&document=1676788&token=>
- [4] Světelné zdroje a svítidla pro veřejné osvětlení [online]. [cit. 2018-12-04]. Dostupné z: <http://www.svn.cz/assets/files/informacni-materialy/2012/Svetelne-zdroje-a-svitidla-ve-VO.pdf>
- [5] Veřejné osvětlení [online]. [cit. 2018-12-04]. Dostupné z: <http://www.svetloblog.cz/index.php?svetlo=verejne-osvetleni>
- [6] Výbojkopédie - Fotogalerie. [online]. [cit. 2018-12-04]. Dostupné z <http://www.vybojky-zarovky.cz>
- [7] HABEL, Jiří a kolektiv. 2013. Světlo a osvětlování. Praha: FCC Public, 622 s. ISBN 978-80-86534-21-3.
- [8] Dnešní světelné zdroje ve veřejném osvětlení [online]. [cit. 2018-12-04]. Dostupné z: <http://www.cne.cz/verejne-osvetleni/cesty-k-usporam-verejne-osvetleni/svetelne-zdroje/>
- [9] Konvenční světelné zdroje [online]. [cit. 2018-12-04]. Dostupné z: <http://www.gigalighting.cz/konvencni-svetelne-zdroje.htm>
- [10] Světelné zdroje LED [online]. [cit. 2018-12-15]. Dostupné z: <http://www.gigalighting.cz/svetelne-zdroje-led.htm>
- [11] SOKANSKÝ, Karel, Tomáš NOVÁK, Marek BÁLSKÝ, Zdeněk BLÁHA, Zbyněk CARBOL, Daniel DIVIŠ, Blahoslav SOCHA, Jaroslav ŠNOBL, Jan ŠUMPICH a Petr ZÁVADA. Světelná technika. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 255 s. ISBN 978-80-01-04941-9.
- [12] Spektrální charakteristiky světla [online]. [cit. 2018-12-27]. Dostupné z: [https://moodle.fel.cvut.cz/pluginfile.php/38548/mod\\_resource/content/1/01\\_SpektralniCharakteristiky\\_upr2.pdf](https://moodle.fel.cvut.cz/pluginfile.php/38548/mod_resource/content/1/01_SpektralniCharakteristiky_upr2.pdf)
- [13] Světelné zdroje [online]. [cit. 2018-12-27]. Dostupné z: <https://www.powerwiki.cz/attach/A5M15ES1/A5M15ES1-06-Zdroje.pdf>
- [14] ELEKTROSVIT Sadovka [online]. [cit. 2019-1-15]. Dostupné z: [http://phozagora.free.fr/?page=Lanterne\\_Sadovka](http://phozagora.free.fr/?page=Lanterne_Sadovka)
- [15] Elektrosvit [online]. [cit. 2019-1-15]. Dostupné z: <http://vo.wbs.cz/Elektrosvit-.html>

- [16] Thorn Diana LED [online]. [cit. 2019-1-15]. Dostupné z:  
[http://www.thornlighting.co.uk/PDB/Ressource/teaser/EN/TLG\\_DyanaLED.pdf](http://www.thornlighting.co.uk/PDB/Ressource/teaser/EN/TLG_DyanaLED.pdf)
- [17] Světlo a tma [online]. [cit. 2019-1-17]. Dostupné z:  
[http://svetelneznecistení.cz/data/letacky/svetlo\\_a\\_tma.pdf](http://svetelneznecistení.cz/data/letacky/svetlo_a_tma.pdf)
- [18] Základy světelné techniky [online]. [cit. 2019-1-18]. Dostupné z:  
[http://fei1.vsb.cz/kat410/studium/studijni\\_materialy/vucee/VUEE\\_Zaklady\\_svetelne\\_techiky.pdf](http://fei1.vsb.cz/kat410/studium/studijni_materialy/vucee/VUEE_Zaklady_svetelne_techiky.pdf)
- [19] Tabulka krytí IP [online]. [cit. 2019-1-18]. Dostupné z:  
<https://elektrika.cz/data/clanky/krip030918>
- [20] Generel veřejného osvětlení [online]. [cit. 2019-2-5]. Dostupné z:  
[https://mmkv.cz/sites/default/files/dokumnty/karlovy\\_vary\\_-\\_generel\\_vse\\_0.pdf](https://mmkv.cz/sites/default/files/dokumnty/karlovy_vary_-_generel_vse_0.pdf)
- [21] Koncepce veřejného osvětlení měst a obcí [online]. [cit. 2019-2-5]. Dostupné z:  
<http://denik.obce.cz/clanek.asp?id=6708794>
- [22] Obecný popis stožárů [online]. [cit. 2019-2-6]. Dostupné z:  
<http://www.kooperativa-vod.cz/ocelove-stozary/obecny-popis-stozaru/>
- [23] PLCH, Jiří. Světelná technika v praxi. 1. vyd. Praha: IN-EL , 1999, 207 s.  
ISBN 80-86230-09-0.
- [24] Viditelnost chodců [online]. [cit. 2019-2-25]. Dostupné z:  
<https://www.bezpecnecesty.cz/cz/dopravni-vychova/dopravni-vychova-ve-skolach/chodec/viditelnost-chodcu>
- [25] SOBÍŠEK, B. a kol. Meteorologický slovník výkladový a terminologický. 1. vyd. Praha: Ministerstvo životního prostředí ČR, 1993, 594 s.
- [26] Padla mlha [online]. [cit. 2019-2-25]. Dostupné z:  
<https://liberecky.denik.cz/nehody/padla-mlha-ridici-neumi-pouzivat-svetla-20121222.html>
- [27] Oslnění – UGR [online]. [cit. 2019-3-3]. Dostupné z:  
<http://www.gigalighting.cz/oslneni-ugr.htm>
- [28] Rychlost [online]. [cit. 2019-6-4]. Dostupné z:  
<https://www.policie.cz/clanek/uzemni-odbor-trutnov-dopravni-inspektorat-rychlost.aspx>
- [29] Centrum bezpečné jízdy Libros Ostrava, s. r. o. – Mapy Google [online].  
[cit. 2019-18-4]. Dostupné z: <https://goo.gl/maps/nddmHGfboGmJmNYT6>
- [30] CiviTEQ [online]. [cit. 2019-20-4]. Dostupné z:  
[http://www.thornlighting.cz/PDB/resources/teaser/CS/TLG\\_CiviTEQ.pdf](http://www.thornlighting.cz/PDB/resources/teaser/CS/TLG_CiviTEQ.pdf)
- [31] Katalog CiviTEQ [online]. [cit. 2019-20-4]. Dostupné z:  
<http://www.thornlighting.cz/cs-cz/produkty/venkovni-osvetleni/ulicni-osvetleni/CiviTEQ>

## Seznam příloh

Příloha A: Tabulky naměřených a vypočtených hodnot .....	I
Příloha B: Tabulky hodnot ze simulací v softwaru ReluxPro .....	VI

Příloha A: *Tabulky naměřených a vypočtených hodnot*

Tabulka A.1: *Vertikální osvětlenosti – xenonové světlomety, tlumená světla a vypnuté VO*

Vzdálenost (m)	Vertikální osvětlenost v měřených bodech (lx)							
	A	B	C	D	E	F	G	H
5	0,446	0,515	0,916	2,399	13,75	6,38	2,71	1,16
10	0,571	0,814	1,08	2,55	5,88	4,53	3,13	2,07
15	0,645	0,878	1,1	1,85	2,87	2,66	2,22	1,81
20	0,593	0,825	1,01	1,29	1,71	1,67	1,57	1,42
25	0,692	0,713	0,901	0,919	1,22	1,28	0,86	0,887
30	0,621	0,635	0,68	0,737	0,876	0,954	0,906	0,882

Tabulka A.2: *Vertikální osvětlenosti – xenonové světlomety, dálková světla a vypnuté VO*

Vzdálenost (m)	Vertikální osvětlenost v měřených bodech (lx)							
	A	B	C	D	E	F	G	H
5	0,717	1,598	2,233	10,63	118,6	31,3	11,11	4,93
10	2,59	3,89	5,64	15,99	63,1	25,32	17,05	9,14
15	3,28	4,08	6,93	13,36	44,3	16,52	13,82	9,75
20	2,55	5,21	7,22	9,71	33,37	11,4	9,91	8,51
25	4,26	5,15	6	7,43	25,4	9,46	3,32	3,63
30	3,79	3,47	4,52	6,53	19,53	7,9	5,56	4,98
35	3,35	3,29	3,68	5,99	15,84	7	4,77	3,91
40	2,63	2,83	3,1	5,77	12,86	6,09	3,94	3,41
45	2,28	2,44	2,89	5,42	10,72	5,68	3,76	3
50	2,03	2,27	2,77	5,24	8,93	5,02	3,49	2,66

Tabulka A.3: *Vertikální osvětlenosti – xenonové světlomety, tlumená světla a zapnuté VO*

Vzdálenost (m)	Vertikální osvětlenost v měřených bodech (lx)							
	A	B	C	D	E	F	G	H
5	0,616	0,762	0,987	2,15	10,15	8,58	7,48	9
10	0,717	0,937	1,27	2,68	5,66	5,05	4,64	6,38
15	0,891	1,04	1,45	2,46	4,82	5,93	7,48	9,62
20	0,702	0,99	1,35	1,71	2,93	3,67	3,81	4,37
25	0,694	0,738	0,927	0,967	1,41	1,47	1,15	1,27
30	0,619	0,662	0,68	0,747	0,944	1,04	0,993	0,968
35	0,48	0,457	0,585	0,6	0,821	0,922	0,935	0,759
40	0,383	0,515	0,429	0,521	0,735	0,891	0,727	1,64
45	0,453	0,528	0,56	0,735	1,74	2,8	5,34	8,05
50	0,533	0,695	0,824	1,04	2,37	4,13	9,13	13,24

Tabulka A.4: *Vertikální osvětlenosti – halogenové světlomety, tlumená světla a vypnuté VO*

Vzdálenost (m)	Vertikální osvětlenost v měřených bodech (lx)							
	A	B	C	D	E	F	G	H
5	0,374	0,443	0,628	1,49	12,44	4,35	2,16	1,03
10	0,389	0,549	0,808	1,97	6,24	3,03	1,99	1,32
15	0,512	0,694	0,942	1,95	3,7	2,33	1,57	1,17
20	0,455	0,749	0,984	1,53	2,44	1,76	1,36	1,03
25	0,611	0,686	0,924	1,18	1,73	1,37	1,06	0,565
30	0,616	0,664	0,756	0,989	1,24	1,11	0,945	0,82
35	0,545	0,407	0,637	0,822	1,11	1,02	0,861	0,436
40	0,468	0,513	0,549	0,678	0,919	0,877	0,511	0,671

Tabulka A.5: *Vertikální osvětlenosti – halogenové světlomety, dálková světla a vypnuté VO*

Vzdálenost (m)	Vertikální osvětlenost v měřených bodech (lx)							
	A	B	C	D	E	F	G	H
5	1	1,6	2,6	6,6	157	17,6	7	4
10	1,8	2	2,7	7,6	90	14,3	8	4,6
15	1,5	2,2	3,3	9,5	75,5	10,7	6,2	4,3
20	1,2	2,4	3,6	13	92	9	5,7	4
25	1,8	2,6	4,4	15,3	42	8,7	2,7	3
30	2	1,3	5,5	18,7	33	7,4	4,6	3
35	2	2,3	5,8	22	28,8	7,4	4,8	1,6
40	1,7	4	7	24,3	23	2,2	2,4	3
45	2,6	4,2	8,5	24	20	6,3	4	2,6
50	1,1	5,1	9	22,2	16,6	0,5	0,5	2,4

Tabulka A.6: *Vertikální osvětlenosti – halogenové světlomety, tlumená světla a zapnuté VO*

Vzdálenost (m)	Vertikální osvětlenost v měřených bodech (lx)							
	A	B	C	D	E	F	G	H
5	0,911	1,3	1,25	4,07	22,02	12,86	9,69	9,75
10	0,956	1,26	1,72	3,41	9,04	7,48	6,27	6,22
15	1,05	1,58	2,18	3,57	6,07	7,15	7,73	10,24
20	0,842	1,33	1,65	2,44	4,18	4,55	4,3	4,88
25	0,955	1,04	1,26	1,05	2,13	2,1	1,62	1,42
30	0,846	0,929	0,984	1,17	1,48	1,46	1,37	1,29
35	0,734	0,569	0,817	0,925	1,2	1,27	1,24	0,866
40	0,44	0,634	0,649	0,776	1,03	1,15	0,722	1,3
45	0,672	0,73	0,886	1,06	2,53	4,73	6,53	9,05
50	0,598	0,859	1,03	1,19	2,54	4,78	8,71	15,76



Tabulka A.7: *Vertikální osvětlenosti – LED světlomety, tlumená světla a vypnuté VO*

Vzdálenost (m)	Vertikální osvětlenost v měřených bodech (lx)							
	A	B	C	D	E	F	G	H
5	0,547	1,39	1,09	2,76	26,64	10,89	4,04	2,03
10	0,689	1	2,14	5,16	10,81	7,05	4,56	2,65
15	1,31	1,95	2,51	3,74	5,49	4,42	3,44	2,62
20	1,4	1,61	1,97	2,64	3,46	2,97	2,52	2,17
25	1,13	1,27	1,54	1,86	2,31	2,15	1,81	1,62
30	0,915	0,994	1,13	1,39	1,65	1,62	1,45	1,34
35	0,823	0,818	0,918	1,11	1,3	1,28	1,19	1
40	0,647	0,734	0,772	0,938	1,05	1,02	0,951	0,921
45	0,603	0,644	0,706	0,794	0,869	0,854	0,792	0,724

Tabulka A.8: *Vertikální osvětlenosti – LED světlomety, dálková světla a vypnuté VO*

Vzdálenost (m)	Vertikální osvětlenost v měřených bodech (lx)							
	A	B	C	D	E	F	G	H
5	1,18	2,04	2,44	5,53	226,4	17,4	6,87	3,14
10	1,24	1,72	3,42	7,64	274,7	17,57	7,01	4,12
15	1,92	2,55	3,31	22,98	218,3	32,37	7,65	4,12
20	1,84	2,26	4,92	37,91	151,7	34,98	12,59	4,74
25	1,88	4,15	11,17	43,82	111,2	37,19	16,94	5,85
30	3,56	7,62	14,21	44,12	85,71	34,57	18,26	10,5
35	5,78	9,72	17,52	40,27	60,55	31,31	19,77	10,46
40	6,73	11,22	17,91	35,96	53,56	28,34	19,7	12,12
45	8,35	12,36	16,93	32,73	43,74	25,82	16,95	13,22
50	8,98	12,05	16,57	30,44	35,54	23,04	14,71	11,61

Tabulka A.9: *Vertikální osvětlenosti – LED světlomety, tlumená světla a zapnuté VO*

Vzdálenost (m)	Vertikální osvětlenost v měřených bodech (lx)							
	A	B	C	D	E	F	G	H
5	1,03	1,69	1,74	3,03	24,22	14,77	9,67	9,74
10	1,05	1,39	2,37	5,45	11,22	8,61	7,72	7,24
15	1,72	2,41	3,12	4,54	7,28	8,18	9,11	11,14
20	1,6	1,83	2,31	3,24	4,92	5,19	5,02	5,47
25	1,31	1,43	1,71	2,05	2,58	2,55	2,72	2,12
30	1,05	1,16	1,26	1,51	1,79	1,82	1,68	1,59
35	0,927	0,64	1,01	1,2	1,45	1,5	1,48	0,944
40	0,76	0,84	0,834	1,04	1,25	1,35	0,84	1,49
45	0,818	0,882	1,02	1,32	2,83	4,98	6,46	10,08
50	0,755	1	1,17	1,52	3,1	5,14	9,75	15,78

Tabulka A.10: *Vypočtené hodnoty vertikálních osvětleností po eliminaci světlometů vozidel*

Vzdálenost (m)	Vertikální osvětlenost v měřených bodech (lx)							
	A	B	C	D	E	F	G	H
5	0,183	0,195	0,188	0,099	0,346	0,490	0,672	0,522
10	0,358	0,408	0,444	0,620	1,070	2,177	2,983	4,600
15	0,398	0,503	0,733	1,010	2,037	3,950	5,697	8,467
20	0,232	0,322	0,449	0,643	1,473	2,337	2,560	3,367
25	0,175	0,180	0,177	0,079	0,287	0,440	0,587	0,579
30	0,122	0,153	0,119	0,104	0,149	0,212	0,247	0,269
35	0,258	0,206	0,286	0,264	0,354	0,464	0,535	0,396
40	0,165	0,247	0,197	0,240	0,349	0,498	0,313	0,946
45	0,447	0,499	0,587	0,774	2,077	3,885	5,846	8,819
50	0,629	0,851	1,008	1,250	2,416	4,430	9,197	14,927

Příloha B: *Tabulky hodnot ze simulací v softwaru ReluxPro*

Tabulka B.1: *Vertikální osvětlenosti ze simulace měření*

Vzdálenost (m)	Vertikální osvětlenost v měřených bodech (lx)							
	A	B	C	D	E	F	G	H
5	0,246	0,246	0,271	0,327	0,473	0,562	0,603	0,607
10	0,177	0,192	0,211	0,257	0,481	0,814	1,149	1,685
15	0,383	0,457	0,560	0,846	2,434	5,257	6,369	7,876
20	0,397	0,453	0,521	0,683	1,199	1,693	1,994	2,338
25	0,276	0,296	0,309	0,353	0,450	0,510	0,532	0,542
30	0,192	0,200	0,208	0,221	0,238	0,245	0,248	0,251
35	0,140	0,143	0,146	0,145	0,152	0,149	0,150	0,150
40	0,107	0,109	0,105	0,107	0,103	0,103	0,103	0,103
45	0,226	0,261	0,315	0,486	1,628	3,919	5,604	8,287
50	0,657	0,799	0,994	1,531	4,300	9,288	12,256	15,006

Tabulka B.2: *Vertikální osvětlenosti po optimalizaci posunutím svítidla*

Vzdálenost (m)	Vertikální osvětlenost v měřených bodech (lx)							
	A	B	C	D	E	F	G	H
5	0,110	0,111	0,113	0,110	0,112	0,112	0,112	0,112
10	0,235	0,308	0,416	0,812	3,611	5,020	4,656	3,504
15	1,161	1,574	2,211	4,686	9,808	11,335	10,921	9,691
20	0,754	0,900	1,078	1,495	2,522	2,756	2,689	2,463
25	0,349	0,377	0,406	0,459	0,514	0,524	0,522	0,514
30	0,203	0,209	0,215	0,222	0,231	0,233	0,232	0,231
35	0,134	0,136	0,137	0,134	0,136	0,136	0,136	0,136
40	0,097	0,096	0,093	0,093	0,093	0,093	0,093	0,093
45	0,458	0,641	0,925	2,083	7,502	10,279	9,443	7,331
50	1,173	1,544	2,097	4,228	8,934	10,392	9,990	8,844

Tabulka B.3: *Vertikální osvětlenosti po optimalizaci změnou výšky svítidla*

Vzdálenost (m)	Vertikální osvětlenost v měřených bodech (lx)							
	A	B	C	D	E	F	G	H
5	0,209	0,217	0,225	0,213	0,227	0,229	0,228	0,226
10	0,251	0,287	0,330	0,449	0,753	0,810	0,799	0,748
15	1,172	1,390	1,637	2,319	3,584	3,817	3,790	3,565
20	1,524	1,645	1,836	2,224	2,882	2,990	2,960	2,873
25	1,028	1,170	1,369	1,650	1,874	1,920	1,907	1,870
30	0,491	0,533	0,574	0,674	0,786	0,805	0,799	0,785
35	0,238	0,247	0,255	0,244	0,258	0,261	0,260	0,258
40	0,139	0,141	0,141	0,145	0,150	0,151	0,151	0,150
45	0,415	0,497	0,601	0,858	1,482	1,586	1,556	1,471
50	1,271	1,503	1,772	2,557	3,767	4,057	3,981	3,747

Tabulka B.4: *Vertikální osvětlenosti po optimalizaci změnou světelného zdroje*

Vzdálenost (m)	Vertikální osvětlenost v měřených bodech (lx)							
	A	B	C	D	E	F	G	H
5	0,397	0,409	0,382	0,399	0,422	0,425	0,424	0,421
10	0,675	0,769	0,886	1,163	1,678	1,749	1,720	1,671
15	2,214	2,552	2,940	3,926	5,078	5,450	5,375	5,059
20	2,676	2,947	3,260	3,901	4,866	4,989	4,955	4,856
25	2,637	2,858	3,062	3,274	3,904	4,000	3,973	3,896
30	1,481	1,604	1,726	1,914	2,156	2,194	2,183	2,153
35	0,737	0,776	0,813	0,834	1,010	1,025	1,021	1,009
40	0,387	0,374	0,370	0,382	0,398	0,400	0,400	0,398
45	1,027	1,199	1,386	1,787	2,584	2,702	2,667	2,574
50	2,457	2,820	3,310	4,259	5,742	6,029	5,956	5,697

Tabulka B.5: *Vertikální osvětlenosti po optimalizaci změnou světelného zdroje výšky*

Vzdálenost (m)	Vertikální osvětlenost v měřených bodech (lx)							
	A	B	C	D	E	F	G	H
5	0,281	0,289	0,286	0,296	0,308	0,310	0,309	0,308
10	0,727	0,870	1,050	1,513	2,656	2,838	2,788	2,636
15	2,738	3,249	3,840	5,554	8,340	9,009	8,840	8,295
20	3,468	3,741	4,075	4,884	6,275	6,494	6,433	6,257
25	2,114	2,393	2,684	3,366	3,820	3,911	3,886	3,812
30	0,995	1,072	1,149	1,243	1,552	1,587	1,577	1,549
35	0,486	0,503	0,518	0,491	0,516	0,520	0,519	0,516
40	0,288	0,290	0,293	0,301	0,311	0,313	0,312	0,311
45	1,178	1,451	1,765	2,476	4,148	4,549	4,410	4,122
50	2,923	3,464	4,073	5,785	8,364	8,914	8,753	8,330

Tabulka B.6: *Vertikální osvětlenosti po optimalizaci změnou svítidla*

Vzdálenost (m)	Vertikální osvětlenost v měřených bodech (lx)							
	A	B	C	D	E	F	G	H
5	3,098	3,047	2,951	2,654	1,837	1,387	1,174	1,121
10	3,144	3,245	3,346	3,579	3,691	3,294	2,867	2,309
15	5,925	6,702	7,601	9,035	10,515	9,106	7,715	6,032
20	6,778	6,857	7,215	7,969	8,206	7,140	6,115	4,859
25	6,060	5,576	5,414	5,486	5,063	4,280	3,691	3,068
30	4,683	4,483	4,332	4,126	3,358	2,716	2,340	1,957
35	3,751	3,684	3,573	3,244	2,408	1,859	1,590	1,335
40	3,003	2,973	2,892	2,614	1,811	1,378	1,174	1,180
45	3,687	3,899	4,160	4,770	5,437	4,924	4,277	3,417
50	6,361	7,158	8,096	9,251	10,579	9,153	7,779	6,138

Tabulka B.7: *Vertikální osvětlenosti po optimalizaci všemi prostředky*

Vzdálenost (m)	Vertikální osvětlenost v měřených bodech (lx)							
	A	B	C	D	E	F	G	H
5	1,457	1,580	1,685	1,800	1,706	1,532	1,422	1,306
10	1,258	1,385	1,524	1,826	2,404	2,537	2,505	2,372
15	2,645	3,019	3,449	4,398	6,119	6,346	6,195	5,778
20	3,777	4,286	4,780	5,441	6,392	6,435	6,210	5,596
25	4,110	4,552	4,985	5,562	5,326	4,673	4,300	3,715
30	2,815	3,084	3,310	3,522	3,460	3,008	2,685	2,269
35	1,472	1,595	1,699	1,816	1,726	1,558	1,453	1,341
40	1,268	1,395	1,535	1,838	2,420	2,557	2,527	2,397
45	2,651	3,026	3,457	4,406	6,130	6,359	6,209	5,793
50	3,781	4,290	4,785	5,446	6,399	6,443	6,219	5,606